

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**“USO DE LA DIATOMITA EN LA OBTENCION DE MATERIALES
REFRACTARIOS COMO AISLANTES TERMICOS EN LOS PROCESOS
INDUSTRIALES”**

Presentada por:

BR. CINTHYA MARIANELLA ZAPATA RUIZ
EJECUTOR

ING. ELVIS ERYCK RAMÍREZ RIVERA M.SC.
ASESOR:

Línea de Investigación: Procesos de minerales no metálicos

PIURA – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

“USO DE LA DIATOMITA EN LA OBTENCION DE MATERIALES

REFRACTARIOS COMO AISLANTES TERMICOS EN LOS PROCESOS

INDUSTRIALES”

Línea de Investigación: Procesos de minerales no metálicos

LOS SUSCRITOS DECLARAMOS QUE EL PRESENTE TRABAJO

DE TESIS ES ORIGINAL, EN SU CONTENIDO Y FORMA.

BR. CINTHYA MARIANELLA ZAPATA RUIZ

EJECUTOR

ING. ELVIS ERYCK RAMIREZ RIVERA M.SC

ASESOR

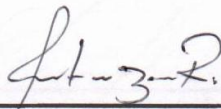
DECLARACION JURADA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS

Yo: **Cinthy Marianella Zapata Ruiz**, identificado con **DNI N° 41920137**, Bachiller de la Escuela profesional de Ingeniería de Química, de la Facultad de Ingeniería de Minas y domiciliada en Asociación Villa Margarita Mz B – Lote 3, del Distrito de San Martín de Porres, Provincia de Lima, Departamento de Lima. Celular: 999911864. Email: cintia_01@hotmail.com

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el Extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código penal concordante con el Art. 32° de la Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor.

En fe de lo cual firmo la presente.

Piura, 10 de agosto del 2019



BACH. CINTHY MARIANELLA ZAPATA RUIZ

DNI N° 41920137

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUÍMICA



TESIS

**“USO DE LA DIATOMITA EN LA OBTENCION DE MATERIALES
REFRACTARIOS COMO AISLANTES TERMICOS EN LOS PROCESOS
INDUSTRIALES”**

APROBADA EN CONTENIDO Y ESTILO POR:

ING. ORLANDO BARTOLOMÉ ZAPATA COLOMA, M.Sc.

PRESIDENTE

ING. ELMER ARENAS RÍOS, M.Sc.

SECRETARIO

ING. RUTH AÍDA CONCHA VELARDE,

VOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
DECANATO

"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y IMPUNIDAD"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado Calificador nombrados mediante Resolución N° 848-CF-19, de fecha nueve de setiembre de dos mil diecinueve, que suscriben, reunidos el día viernes veinticinco de octubre de dos mil diecinueve, a horas 09:00. a.m., en la sala de conferencias - FIM, para la sustentación de la Tesis titulada "USO DE LA DIATOMITA EN LA OBTENCIÓN DE MATERIALES REFRACTARIOS COMO AISLANTES TÉRMICOS EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES", conducida por la señorita Bachiller en Ingeniería Química ZAPATA RUIZ CINTHYA MARIANELLA; la misma que cuenta con el asesoramiento del Ing° Elvis E. Ramírez Rivera M.Sc. Efectuadas las observaciones y dadas las respuestas, la declaran:


DESAPROBADA	A P R O B A D A			
	Bueno	Muy Bueno	Sobresaliente	Excelente
	-----	-----	-----✓-----	-----

En consecuencia, queda en condición de ser calificada **APTA** y solicitar al Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, le otorgue el **TITULO PROFESIONAL DE INGENIERA QUÍMICA**, de conformidad con lo estipulado en las normas legales vigentes de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 25 de octubre de 2019.


ING° ORLANDO B. ZAPATA COLOMA M.Sc.
Presidente del jurado calificador


ING° ELMER ARENAS RÍOS, M.Sc.
Secretario del jurado calificador


ING° RUTH CONCHA VELARDE.
Vocal del Jurado Calificador

YMN.

DEDICATORIA

A mis progenitores Víctor e Iris, que con su demostración ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos en cada momento de mi vida, por haber construido en mí el espíritu de progreso con responsabilidad y buenos principios morales.

A toda mi familia, por su apoyo incondicional en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, por la confianza y el apoyo brindado, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mis hermanos, por acompañarme durante todo este arduo camino y compartir conmigo alegrías y fracasos.

A mi novio, por su incondicional apoyo, por su amor y comprensión.

A mis abuelos, por confiar en mí, por ser parte de mi vida y por permitir ser parte de su orgullo.

A los docentes que están como jurado y al asesor, por su valiosa guía y asesoramiento en la realización de esta tesis.

Finalmente, agradezco a todas las personas que con sus significativas aportaciones ayudaron directa e indirectamente e hicieron posible la realización de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA	16
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	16
1.2. Justificación e importancia de la Investigación	18
1.2.1. Justificación.....	18
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1. Objetivo General.....	19
1.3.2. Objetivos Específicos	19
1.4. Delimitación de la Investigación	19
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	20
2.2. Bases teóricas.....	21
2.2.1. Diatomita	21
2.2.2. Materiales Refractarios y Aislantes Térmicos	29
2.3. Glosario de términos	36
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO	38
3.1. Enfoque y Diseño.....	38
3.2. Sujetos de la investigación.....	38
3.3. Métodos y procedimientos.....	38
3.4. Técnicas e instrumentos.....	39
3.5. Aspectos éticos	39
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES.....	86
REFERENCIAS	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades físicas de la diatomita	22
Tabla 2: Composición química de la diatomita.	23
Tabla 3: Usos industriales de la diatomita.	25
Tabla 4: Peso molecular en función al óxido	35
Tabla 5: Rango de temperatura y calores específicos.	35
Tabla 6: Análisis químicos de dos muestras de tierras de diatomeas de la zona denominada "Cueva de los Incas".	42
Tabla 7: Cálculo de la temperatura de los diagramas de análisis térmico de las figuras 8 y 9.	46
Tabla 8: Pérdida porcentual de peso, sobre muestra seca a 110°C, a diferentes temperaturas de cocción de la Diatomita en el Desierto de Sechura: Zona Inca.	51
Tabla 9: Pérdida porcentual de 2 eso 2 sobre muestra seca a 110°C 2 a diferentes temperaturas de cocción de la Diatomita del Desierto de Sechura: Área I.	52
Tabla 10: Densidad real por el Método del Picnómetro.	55
Tabla 11: Densidad real de la Diatomita "Inca" a diferentes temperaturas de cocción. ...	57
Tabla 12: Densidad real de la Diatomita "Área I" a diferentes temperaturas de cocción.	57
Tabla 13: Densidad Global (g/cm ³) de la Diatomita "Inca" a diferentes temperaturas de tratamiento (°C).	61
Tabla 14: Densidad Global (g/cm ³) de la Diatomita del Área I con la temperatura de tratamiento.	62
Tabla 15: Variación promedio de la porosidad total (% PT) de la Diatomita del Desierto de Sechura con la temperatura de tratamiento (°C).	63
Tabla 16: Resultados de Conductividad Térmica.	65
Tabla 17: Comparación de la Conductividad Térmica de la Diatomita Sechurana con la de otros aislantes térmicos, a diferentes temperaturas.	66
Tabla 18: Ensayo de Compresión en Frío.	70
Tabla 19: Variación de la resistencia a la compresión en frío de la Diatomita "Área I" a diferentes temperaturas de cocción (°C).	72
Tabla 20: (Continuación).	73
Tabla 21: Resultados de ensayos de consolidación- sinterizado.	76

Tabla 22:Resultados de Ensayos de Prensado-Sinterizado.	78
Tabla 23:Resultados de ensayos de prensado-sinterizado.	79
Tabla 24:Especificaciones de los valores para Análisis Químicos de Diatomita área I.	82
Tabla 25:Análisis Químicos de Diatomita área I.....	82
Tabla 26:Análisis de propiedades físicas de Diatomita área I.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Zonas de Ocurrencias de la Diatomita en el Perú.	16
Figura 2: Clasificación general del consumo de diatomitas	17
Figura 3: Diagrama del proceso de producción del mineral.....	23
Figura 4: Demuestra la variedad de la conductividad cálida de algunos materiales protectores, a bajas temperaturas.....	32
Figura 5: Medición porosidad abierta.....	34
Figura 6:Conductividad térmica de materiales refractarios en función de la temperatura.	36
Figura 7:Muestra de un bloque de diatomita que se corresponde con la Zona Inca.....	41
Figura 8:El análisis térmico diferencial y gravimétrico de la muestra pulverizada	44
Figura 9: El análisis térmico diferencial y gravimétrico de la muestra consolidada.	45
Figura 10:Tierra de Diatomeas en polvo. DR-X	47
Figura 11.Tierra de Diatomeas en polvo lavadas con agua. DR-X.	48
Figura 12:Variación porcentual promedio de la pérdida de peso, sobre muestra seca a 110°C, con la temperatura de cocción de la Tierra de Diatomeas del Desierto de Sechura. (a) Zona Inca; (b) Área I.....	50
Figura 13: Determinación de la Superficie Específica.	53
Figura 14: Determinación de la densidad real con el autopicnómetro.	54
Figura 15:Variación promedio de la densidad real de la Tierra de Diatomeas del Desierto de Sechura con la temperatura de cocción. (a) Zona Inca; (b) Área I.....	56
Figura 16:Bloques de Diatomeas para determinación de densidad global (ASTM C - 303-82). (a) En Verde; (b) tratados térmicamente.....	59
Figura 17:Disposición del equipo durante la Fase de Saturación de la probeta, considerando la Norma UNE 61.034-75.	59
Figura 18:Variación Promedio de la Densidad Global de la Tierra de Diatomeas del Desierto de Sechura, con la temperatura de tratamiento. (a) Zona Inca (b) Área I.....	60
Figura 19:Disposición de las probetas, antes y después del ensayo de Resistencia a la Compresión en frío. Resultados Experimentales.....	69
Figura 20:Variación promedio de la resistencia a la compresión en frío de la tierra de diatomeas del Desierto de Sechura con la temperatura de cocción. (a) Zona Inca.	70
Figura 21:Ensayos de Prensado-Sinterizado de Diatomita Pulverulenta.	74

Figura 22:Muestra un bloque de diatomita del Área I en la actualidad.....	80
Figura 23:Muestra un bloque de diatomita del Área I en la actualidad.....	81

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1:Valores de Propiedades física de la Diatomita.	90
Anexo 2:Análisis Químico de la muestra.	91

RESUMEN

La investigación realizada tuvo como objetivo determinar las relaciones que existen entre los estudios acerca de la diatomita, realizados como materia prima en la obtención de materiales refractarios como aislante térmico y muestreos actuales de yacimientos de este mineral. Para ello, la presente investigación estudió las propiedades físico químico de la diatomita, además de establecer comparaciones con investigaciones de larga data con esta, y a su vez, darle un mejor valor agregado como producto terminado en los procesos industriales. Es un estudio cuantitativo, de tipo descriptivo. Los principales resultados fueron una alta heterogeneidad, evidenciándose que el yacimiento presenta diferentes calidades de diatomita. A temperaturas que superan los 950°C la diatomita estudiada tiende a estabilizarse térmicamente. Adicionalmente, las propiedades mecánicas óptimas de las tierras de diatomeas se encuentran en el intervalo de 500 a 600°C, ya que a esta temperatura poseen baja densidad global y elevada porosidad. Por último, obviando las limitaciones financieras que impidieron realizar los debidos análisis a la muestra extraída; se evidenció de alguna manera que en el desierto de Sechura aún siguen existiendo canteras de gran material del mineral de la diatomita, pero la heterogeneidad es muy alta, por lo que se requiere estudiar y determinar las concentraciones y características de las distintas variaciones del material para obtener mayor aprovechamiento.

PALABRAS CLAVES: materiales refractarios, yacimientos de esta minera, estudio cuantitativo, de tipo descriptivo, mineral de la diatomita, variaciones del material

ABSTRACT

This research aims to determine the relationships between studies on diatomite, performed as raw material in obtaining refractory materials as thermal insulator and current sampling of deposits of this mineral. For this, the present investigation studied the physical chemical properties of the diatomite, in addition to establishing comparisons with long-standing research with it and, in turn, giving it a better added value as a finished product in industrial processes. It is a quantitative, descriptive study. The main results were high heterogeneity, evidencing that the site has different qualities of diatomite. At temperatures above 950 ° C the diatomite studied tends to stabilize thermally. Presenting, in addition, the best mechanical properties of diatomaceous earths in the range of 500 to 600 ° C, since they have low overall density and high porosity. Finally, ignoring the financial limitations that prevented the proper analysis of the sample currently extracted, it was shown in some way that in the Sechura desert there are still large quarries of the diatomite ore, but the heterogeneity It is very high, so it is necessary to study and determine the concentrations and characteristics of the different variations of the material to obtain greater use.

KEY WORDS: refractory materials, deposits of this mining company, quantitative study, descriptive type, diatomite mineral, material variations

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se propuso describir la importancia de la diatomita en el desarrollo industrial, ya que se considera un mineral no metálico de múltiples usos en ingeniería, el cual presenta grandes reservas en el desierto de Sechura aún sin explorar ni explotar. El objetivo a perseguir es evidenciar, a través de estudios anteriores y un muestreo actual, las propiedades de la diatomita en función de poder ser materia prima para materiales aislante o refractantes.

Con la intención de dar cumplimiento a los objetivos propuestos, el estudio se estructuró en cuatro secciones, las cuales se describen a continuación:

Capítulo I: En esta sección del estudio se presentan los aspectos de la problemática, lo que comprende la descripción de la realidad problemática, su justificación e importancia, así como los objetivos de estudio y la delimitación de la investigación.

Capítulo II: Se incluye el marco teórico que sirve como sustento referencial de la investigación; comprende los antecedentes del estudio y las bases teóricas referentes a la diatomita, materiales aislantes y refractantes.

Capítulo III, en el cual se describe el marco metodológico, que comprende el enfoque y diseño, sujeto de la investigación, métodos y procedimientos; además de las técnicas, instrumentos y aspectos éticos.

El capítulo IV, aborda los resultados y discusión, desarrollando el análisis de ambos.

El estudio finaliza con la presentación de las conclusiones y recomendaciones a las que se arribó luego del desarrollo del trabajo.

CAPÍTULO I ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1. Descripción de la realidad problemática

El 61% de la producción de diatomita a nivel mundial es utilizada por el sector industrial, para el filtrado de líquidos, particularmente en bebidas como cerveza, vinos, entre otros. El 39% de la producción restante se emplea como agente de carga en diferentes procesos industriales, en las cuales destaca su función como extendedor de pigmentos en la fabricación de pintura y plástico. A nivel mundial, los principales productores de este mineral son los Estados Unidos (39.5%), quien es además el principal productor y consumidor mundial de diatomita, seguido de China (21.3%), Dinamarca (11%), Japón (4.8%), y México 4.4% (Dirección general de desarrollo Minero, 2017).

A nivel latinoamericano, los yacimientos de uso comercial más importantes se localizan en la región minera El Barqueño, en el estado de Jalisco, México. Esta última es perteneciente al Grupo Imerys, la cual es una de las mayores empresas dedicadas al procesamiento de minerales para la industria. En términos estadísticos, la producción mundial de este mineral se estimó en 2.06 millones de toneladas en 2011, 11.9% superior a las cifras registradas en 2010. Por otra parte, los depósitos actuales de diatomita en el Perú se encuentran en dos modalidades, las de origen marino, en la región de Piura, específicamente la cuenca Sechura y en Ica, la cuenca Pisco; y depósitos de origen lacustre en Ayacucho, Arequipa y Tacna (ver Figura 1). Por otro lado, la mayor cantidad de la producción es usada como material filtrante en un 57%, seguido como material inerte con 28%, y como material aislante es de 8%.



Figura 1: Mapa de Zonas de Ocurrencias de la Diatomita en el Perú.
Fuente: Dirección General de Desarrollo Minero, 2017.

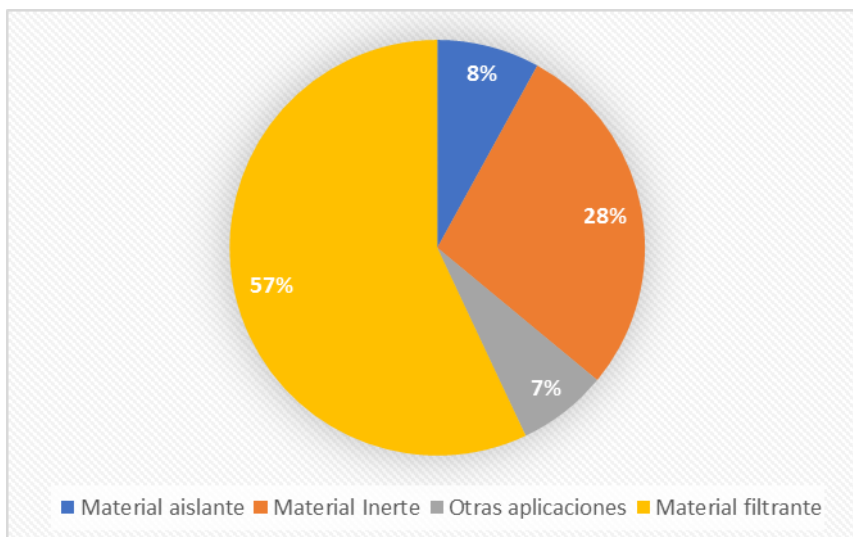


Figura 2: Clasificación general del consumo de diatomitas

Fuente: Elaboración Propia.

La mayor parte de los depósitos en el sur de Perú (Huamali, Nazca, Tukurani, Uzuña, entre otros) no tienen información sobre su calidad y depósitos, en líneas generales, no se han estudiado ni explorado. En numerosas zonas en donde se encuentran estos arreglos, se ha confirmado la cercanía de la diatomita y algunos cuentan con una investigación inicial, al igual que en la zona de Bayóvar (Díaz y Ramírez, 2009).

El desarrollo de una economía y civilización basada en la industria manufacturera depende de la habilidad del país para acceder a recursos minerales adecuados. Además, el impulso en la producción y transformación de minerales no metálicos en comparación con los metálicos para la economía de diversos países, refleja su grado de desarrollo económico. Así, en los países de mayor desarrollo industrial y tecnológico, los minerales no metálicos constituyen un sector en crecimiento dentro de la extracción de materias primas. Por el contrario, en países con modelos económicos menos desarrollados como el Perú, la explotación de minerales metálicos supera consistentemente a los no metálicos, y son una de sus principales fuentes de ingreso por exportaciones. De esta forma, a medida que un país apunta hacia un modelo de desarrollo, aumenta en forma directa la importancia relativa de los minerales no metálicos para las industrias manufactureras (Lorenz y Gwosdz, 2004).

En la actualidad, la industria de los materiales refractarios se encuentra en un proceso de renovación, lo que trae consigo un aumento de los consumos específicos y de los volúmenes totales de producción. Debido a esto, se ha estimulado el desarrollo de

investigaciones para potenciar aquellas características que le permitan competir con los materiales de tipo metálico u orgánico: elevadas propiedades, resistencia al desgaste, corrosión química, conductividad térmica, densidad, entre otras. Es así, como la diatomita posee cualidades que lo catalogan como un material refractario que permite abastecer la demanda de las industrias clásicas, como la siderurgia, cemento, vidrio, cerámica, térmica; a las nuevas utilidades desarrolladas en las industrias energéticas, química, tratamiento de minerales, industria papelera, entre otras. Además, todo esto fortalece la concientización en la necesidad de conservar energía, lo que ha tenido como consecuencia un resurgimiento del interés por los usar materiales aislantes (Díaz y Ramírez, 2009).

1.2. Justificación e importancia de la Investigación

1.2.1. Justificación

Tecnológica

Contribuir con el mejoramiento de los procesos industriales de filtrado, a partir de la combinación de diatomitas ubicada en diversos yacimientos en el territorio peruano, particularmente en el desierto de Sechura.

Económica

El aprovechamiento de este recurso natural no metálico impacta de manera relevante la producción nacional, dándole un mejor valor agregado como materiales refractarios en el uso de los diferentes procesos industriales en aplicación como aislantes térmicos. Sin embargo, es importante impulsar la industrialización en la extracción de la diatomita, de forma tal que alcance niveles de competitividad con las de origen extranjero.

Académico

Potencializar estudios referentes a minerales no metálicos y su aplicación a la industria, convirtiéndose en basamentos teóricos o nuevos enunciados e ideas que puedan ser de aporte a procesos en el caso de los materiales refractante o aislantes.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Describir el uso de la diatomita en la obtención de materiales refractarios como aislantes térmicos en los procesos industriales.

1.3.2. Objetivos Específicos

Identificar los elementos contenidos en la composición de la diatomita que favorecen a la obtención de materiales refractarios como aislantes térmicos en procesos industriales.

Identificar los procesos industriales que actualmente contemplan el uso de la diatomita.

Identificar las propiedades del nuevo muestreo a realizar.

1.4. Delimitación de la Investigación

Se desarrolló durante seis meses, y el financiamiento económico para el estudio de la Diatomita se realizó con recursos propios. Se desarrolló en el área geográfica de Bayóvar, específicamente en el desierto de Sechura.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Calderón, D; Quispe, E y Rebatta, P. (2017), en su investigación titulada “Activación de la diatomita proveniente de Chontacaes”, para obtener el título de Ingeniero Químico en la Universidad Nacional del Callao. El referido trabajo tuvo como finalidad hallar el proceso más idóneo en la activación de diatomita proveniente de Chontaca, Ayacucho, para ser empleada en la adsorción de Pb^{+2} . Este procedimiento se llevó a cabo al exponer a un tratamiento térmico a variadas condiciones de temperatura, porcentaje de fundente y tamaño de partícula; el cual posteriormente se utilizó como un canal de adsorción de plomo y se verificó las siguientes variables: tamaño de partícula, tiempo de contacto y pH.

Los modelos de isoterma lineales de Langmuir y Freundlich fueron aplicados para describir el equilibrio de adsorción. Los resultados comprobaron que la activación térmica de la diatomita de Chontaca-Ayacucho a temperatura $1100^{\circ}C$, tamaño de malla 80 y porcentaje de fundente 2% logró adsorber 28% de Pb^{+2} . La adsorción aumenta de 58% a 98% cuando el pH aumenta de 2 a 6. El tiempo de contacto determinado fue de 60 minutos con una remoción de 98% y el % de remoción aumentó de 94% a 98%, cuando el tamaño de partícula fue reducido de 60 a 140; este proceso de adsorción fue descrito por el modelo de adsorción de Freundlich.

Saldarriaga, D. (2009), en su tesis titulada “Fabricación de ladrillos aislantes y revestimientos cerámicos con diatomita de San Juan, Argentina”, para optar por el título de Ingeniero Industrial y de Sistemas por la Universidad Nacional de Piura. El objetivo de su investigación fue explorar la factibilidad en el uso de las tierras diatomeas de la provincia de San Juan, Argentina, para la fabricación de ladrillos y cerámicos aislantes. Entre los métodos se usaron los análisis físicos a través de probetas, cerámicas y ladrillos con diversas concentraciones de diatomita. Por otro lado, se consideró un análisis termo gravimétrico y térmico diferencial del mineral para así lograr tener evidencias de pérdida en peso y reacciones que resulten a diferentes lapsos de temperatura; además permitió elaborar procedimientos óptimos para la fabricación de ladrillos y otros productos cerámicos.

Moreno, A; Iles, A y Rodríguez, J. (2009), realizaron una investigación titulada “Efecto de los tratamientos químicos y térmicos sobre la microestructura y composición química

de la tierra diatomácea en su exploración”. En su análisis, los autores indican que la diatomita, se emplea como rejilla, material de separación, elemento latente de explosivos o para cubrir equipos de uso industrial como calderas y cilindros. Como filtro, se utiliza con frecuencia en las industrias cervecera y vinícola, donde, tras la separación, se convierte en un desperdicio de procedimientos. Debido a esto, los autores proponen el uso de estos residuos, como material cementoso. Además, se consideró el impacto de los medicamentos sintéticos y cálidos en la microestructura de la tierra de diatomeas.

Cruz, Guzmán, Rimaycuna, Alfaro y otros (2016), en su estudio exploratorio denominado “Tratamiento complementario de agua potable utilizando un filtro de carbón activado impregnado con quitosano producidos a partir de biomasa residual”, llegan a la conclusión de que la productividad de un canal dependiente del carbono promulgado, creado con almidón de maíz y saturado con quitosano, se probó para el tratamiento recíproco del agua potable, suministrada en la ciudad de Tumbes. En el canal fabricado se descubrió cómo disminuir efectivamente los grados de fijación de la turbidez, dejando el cloro sobrante en el agua potable, con lo que llegó a registrar valores entre 46.9% y 68.9% y entre 87.5% a 100% por separado.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Diatomita

Se denomina diatomita o tierras diatomeas a un conjunto de sustancias minerales no metálicas, compuestas en su mayor proporción por frústulas o micro esqueletos silicios de diatomeas. De acuerdo con la Nomenclatura Mineralógica Internacional, en función de las correspondientes composiciones químicas, es una especie mineral de la clase del silicio, y la unidad fundamental es el agrupamiento de iones silicio-oxígeno de fórmula $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (Verdeja, Vásquez y Barranzuela, 1993).

En sí, las diatomeas son algas acuáticas unicelulares, prolíficas y microscópicas, que pertenecen al género de las bacilariáceas y se pueden desarrollar tanto en el mar como en aguas dulces. Estos organismos microscópicos tienen la capacidad de extraer sílice en su hábitat natural. Una vez que el organismo muere, se hunde dentro del medio acuoso, originando de manera consecuente un sedimento de carácter orgánico y su desintegración trae consigo la acumulación de los caparzones silíceos, integrándose hasta que se transforman en depósitos potenciales de diatomita (Talledo, 1989).

Asimismo, la cantidad de impurezas impiden relacionar si tan integración está condicionada a la sedimentación en el momento que se depositan las diatomeas (Viera, 1983).

Las características físicas descritas anteriormente son importantes al momento de determinar las eventuales aplicaciones industriales de estos minerales no metálicos. En este sentido, la capacidad de filtración, su poder decolorante y de absorción se relaciona con la cantidad de frústulas sanas, en comparación con la presencia de frústulas rotas o trituradas (Verdeja, Vásquez y Barranzuela, 1993). Asimismo, la clasificación comercial se deriva de su apariencia:

- **Diatomita extra:** de colores blancos, aspecto limpia.
- **Diatomita de primera:** de tonos blanquecinos.
- **Diatomita de segunda:** de tonos grisáceos o amarillentos blanquecinos.

Propiedades físicas y químicas:

Las principales propiedades de la diatomita se pueden observar en la tabla 1.

Dureza Mohs	
-Tierra Natural	-4,5-5,0
-Dureza Mohs, tierra calcinada	-5,5-6,0
Gravedad específica (g/cm ³)	
-Real	-2,1-2,2
-Aparente (Bloques seco)	-0,45
-Aparente (polvo seco)	-0,80-1,13
Raya	Blanca
Brillo	Mate y terroso
Fractura	De pulverulenta a sub-concoidal
Transparencia	Opaca
Tenacidad	Desmenuzable a friable
Solubilidad	Insoluble en ácidos

Tabla 1: Propiedades físicas de la diatomita
Fuente: Elaboración propia

En su análisis cristalográfico, la diatomita es microamorfa; sin embargo, bajo la luz del microscopio se observan morfas. A través de la difracción de rayos X, se evidencia la presencia de β - 4 cristobalita y de una aproximación de la α –cristobalita. Lo anteriormente descrito da indicios de que la diatomita es isotrópica. La estructura esquelética diatomítica tiene las características de ser de baja densidad, alta capacidad de adsorción, gran área de superficie, baja capacidad abrasiva y baja conductividad térmica, lo que permite su uso en diversas aplicaciones industriales.

La composición química de la diatomita se puede observar en la tabla 2:

Componente	Composición (%)
SiO ₂	65-95
Al ₂ + Fe ₂ O ₃	0,2-0,8
Cabo + MgO	0,1-7
K ₂ + Na ₂ O	0,0-5
H ₂ O + Materia orgánica	4-15

Tabla 2: Composición química de la diatomita.
Fuente: Elaboración propia

Proceso de producción del mineral

En la figura 3, se puede apreciar una representación visual de los procesos que se deben cumplir para el procesamiento y comercialización de diatomita:

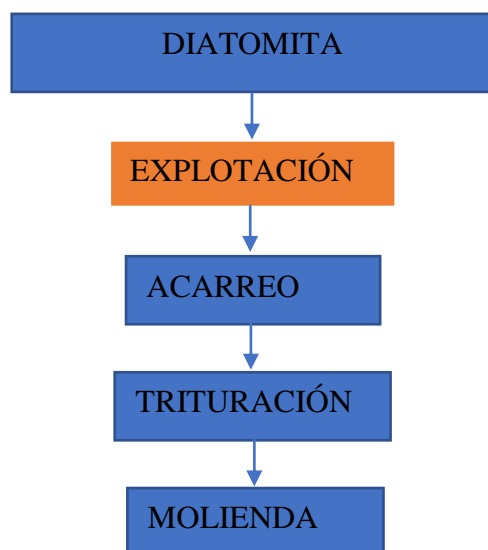


Figura 3: Diagrama del proceso de producción del mineral
Fuente: Lorenz y Grosez (2004).

Descripción del proceso de producción

La descripción del proceso se desarrolla con base en lo descrito por el sistema de información comercial de México en la publicación del mercado internacional de la diatomita.

Minado:

Su proceso de extracción se realiza a cielo abierto, es decir, a la intemperie, removiendo el material existente sobre el yacimiento, seguidamente es que se explota el material. El mineral al salir en bruto se traslada a la molienda o los almacenes. Por lo general, su humedad esta alrededor del 40% y en ocasiones alcanza valores de hasta el 60%.

Trituración primaria:

Se le realiza a la diatomita, sin intervención o alteración, inmediatamente al ser extraída para reducir el tamaño a través de molinos de martillo.

Molienda/ Secado:

Este proceso reduce las dimensiones de las partículas, ambos estados del proceso se hacen de manera paralela; en el caso de las partículas que quedan suspendidas son arrastradas por una corriente de gas caliente. Los secadores tienen temperaturas que oscilan o alcanza en intervalo de 70-430°C para darle al material un grado de humedad aproximado de 15%.

Clasificación:

Las partículas suspendidas expulsadas del secador atraviesan un conjunto de ventiladores, ciclones y separadores, y llegan de manera definitiva a una bolsa. Estos procesos cíclicos diferencian las diatomitas en diferentes tamaños, quitan las impurezas y eliminan los restos del agua dentro del material.

Calcinación (con fundente):

El arreglo añadido a las dimensiones de la partícula es por adición de un fundente entre 2% y 8%, comúnmente se utiliza soda cáustica, cloruro de sodio o hidróxido de sodio, antes de iniciar este proceso. El fundente adicionado sintetiza las partículas de diatomita y aumenta el tamaño. Los productos generados son llamados “Calcinados con Fundente”. La calcinación con fundente origina un producto blanco coloreado por la

transformación de hierro a un complejo de silicatos de sodio-aluminio-hierro, previamente a su conversión a óxido. La temperatura para la calcinación oscila hasta los 1200°C

Calcinación (sin fundente):

El polvo de diatomita natural es calcinado en hornos giratorios. Las temperaturas normales para la operación del horno varían entre los rangos de 650°C y 1200°C. Este proceso genera partículas con poros grandes y pequeñas áreas superficiales, lo que quiere decir que el material es sintetizado. Las altas concentraciones de hierro le dan una coloración rosada al material, ello debido a la oxidación; así como parte de la sílice amorfa se transforma en cristobalita.

Usos y aplicaciones industriales de la diatomita

En la tabla 3, se observan los usos más relevantes de diatomita, relacionados con su propiedad física que define su aplicación y la rama industrial de destino, a partir de nivel de porosidad.

Propiedades Físicas	Uso	Rama Industrial
Alta porosidad	Material filtrante	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de productos químicos. • Industria de la sacarosa. • Industria de licores vinos y cervezas. • Industria farmacéutica. • Industria de purificación de aguas.
Alta área superficial	Cargador y aditivos	<ul style="list-style-type: none"> • Industria de pinturas • Industria de plástico • Industria de caucho • Industria de papel • Industria de fertilizantes e insecticidas.
Alta capacidad de absorción	Elementos absorbentes	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de aislantes térmicos.
Baja conductividad	Fuente de sílice	<ul style="list-style-type: none"> • Industria de fibra de vidrio.
Baja agresividad	Abrasivos	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales destinados al pulido de automóviles y metales preciosos. • Pastas dentífricas.
Intercambio iónico	Análisis cromatográfico	<ul style="list-style-type: none"> • Industria cromatográfica

Tabla 3: Usos industriales de la diatomita.
Fuente: Elaborado con base en Harben (2002).

Por otro lado, el uso de la diatomita (y tierras de moler) es muy diversificada y comprende particularmente el tratamiento a priori por calcinación (cocción a 800-1000°C) y activación (cocción a cerca de 1000-1200°C con adición de fundentes).

Los usos y aplicaciones de las diatomitas son variados y están asociados a la calidad del material; algunos de estos ya referidos en la tabla 3 pero a considerar otra propuesta dada (Leandro, 2010):

- **Filtrado de líquidos, aceites y grasas**

La mayor utilidad dada a la diatomita es como filtro. El poder filtrante está condicionado a varios factores y a la estructura primordialmente. Las diatomitas con mejor calidad se emplean para el filtrado de líquidos, siendo lo recomendable que deban tener frústulas enteras. Las diatomitas con pequeñas cantidades de arcillas no pueden utilizarse como filtrante. Entre algunas de las aplicaciones destacan para la clasificación: jugos de caña y betarraga para la fabricación de azúcar, melaza, vinos, cerveza, otras bebidas alcohólicas y no alcohólicas. La mayor demanda de filtro corresponde a la industria de las bebidas en general, en especial la industria cervecera.

- **Industria de la construcción**

Se le da un relacionado con aditivos para el concreto pues su homogeneidad mejora; además, facilita su manejo, minimiza el exceso de agua presente en la mezcla y evita así su posterior segregación, por otro lado, aumenta su impermeabilidad final. Adicionalmente, es empleado en la preparación de estucos con yeso, cal o cemento; y se usan también para la elaboración de tejas y ladrillos silíceos livianos, placas/tabiques, mayólica, losetas, baldosas, entre otros.

- **Relleno**

Su aplicación va dirigida con frecuencia a industrias de la pintura, barnices, plástico, hule, entre otros, porque actúa como un extendedor de pigmentos y agentes mareantes. Con su variedad de presentaciones, las diatomeas se relacionan con la película de la pintura creando una mayor tenacidad y excelentes propiedades de lijado. Se usa además como carga industrial en la fabricación de los distintos productos como: caucho, jabones, neumáticos, suelas, tacones, pastillas y comprimidos medicinales; así como en la fabricación de discos para fonógrafos, insecticidas, fertilizantes y otras muchas aplicaciones.

- **Abrasivo**

Se usan o utilizan en la pulimentación de superficies metálicas, vidrios, etc. y en la producción de piedras de afilar para los molejones. En el caso de los abrasivos suaves se emplea las diatomitas pulverizadas en la preparación de polvos y pastas dentífricas, en algunas clases de jabones y productos de limpieza, y para generar fricción entre las cabezas de los fósforos y la sustancia puesta en las fajas de las cajas para frotarlos.

- **Aislante refractario**

Las diatomitas se usan en estado natural como sustancias aisladoras del calor y el sonido; en bloques aserrados, a manera de briquetas hechas con diatomitas pulverizadas, ligadas con arcillas u otros aglutinantes y seguidamente prensadas. Su uso industrial abarca la fabricación de empaquetaduras, cubiertas aisladoras de tuberías, aislamiento de hornos e instalación de calefacción y de refrigeración, así también se usa en la fabricación de planchas aisladoras de ruidos para recubrir paredes y cielorrasos, y para manufacturar cementos especiales refractarios y aisladores.

Depósito de Piura – Yacimiento Bayóvar.

En la cuenca del Sechura, se han encontrado altas concentraciones de diatomita, que forman una variedad de unidades estratigráficas de diatomita y fosforita, y de lo que existe evidencian los lados del desánimo de la región de fosfato (Área II), en donde se producen capas intercaladas de diatomita con fosforita. Por otro lado, existen en la zona I, donde, como en la zona antes descrita, llegan a espesores de hasta 7 m.

En este sentido, los depósitos de diatomita revisados y verificados se determinan en mil millones 109 toneladas (informe de TM Cheney para Minera Bayóvar. Walk 1964), tan solo 85 millones de toneladas (medidor fabricado por la Sección Minado - Bayóvar. Digger Perú, SA, 1986) guardan relación con la zona llamada Cueva del Inca.

La diatomita tobácea es el resultado mediocre originado con mayor detalle, se ha atravesado con un contorno de perforación de 50 m. y podría alcanzar espesores mayores. Por otro lado, se integra de capas de diatomita contenidas de foraminíferos y eolitos de fosfato más oscuros o caramelizados brillantes y un segmento por debajo del 2% de P_2O_5 .

En tanto, la diatomita inca está formada generalmente por diatomita sin contenido de influencia contaminante, además de escamas de pescado, espículas de limpieza y láminas de crecimiento oceánico, todas fosfatadas, espléndidas, brillantes y resinosas. Esta unidad evidencia un grosor que se modifica en algún lugar en el rango de 4.5 y 17 m., presentándose un aumento en sus dimensiones en el segmento occidental de la región y descendiendo hacia el este superior, este comportamiento se debe al contenido de fosfato en todo el segmento.

Asimismo, la diatomita quechua integra en su mayor parte diatomeas sin alteración con un par de capas de fosfito. Su mayor grosor es de 19 m y está ubicado en el lado este superior de la gigantesca solución salina. Por otro lado, contiene diferentes restos de osamentas, restos de pescado y enormes granos de cuarzo.

En la parte más alta, exhibida por la unidad de Miocena en la tesis de Sechura, se halla la unidad de diatomita estéril. Este tipo de diatomita no está intervenida, es blanca en capas delgadas y ligeras, con manchas de color naranja o amarillo, incluso rojizas; de igual modo, en la región I, junto al arroyo San Andrés, evidencia franjas de color verde oliva consideradas originadas por la oxidación del problema natural.

Depósito de Piura – Yacimiento Bayóvar.

En la cuenca del Sechura, se han encontrado altas concentraciones de diatomita, que forman una variedad de unidades estratigráficas de diatomita y fosforita, y de lo que existe evidencian los lados del desánimo de la región de fosfato (Área II), en donde se producen capas intercaladas de diatomita con fosforita. Por otro lado, existen en la zona I, donde, como en la zona antes descrita, llegan a espesores de hasta 7 m.

En este sentido, los depósitos de diatomita revisados y verificados se determinan en mil millones 109 toneladas (informe de TM Cheney para Minera Bayóvar. Walk 1964), tan solo 85 millones de toneladas (medidor fabricado por la Sección Minado - Bayóvar. Digger Perú, SA, 1986) guardan relación con la zona llamada Cueva del Inca.

La diatomita tobácea es el resultado mediocre originado con mayor detalle, se ha atravesado con un contorno de perforación de 50 m. y podría alcanzar espesores mayores. Por otro lado, se integra de capas de diatomita contenidas de foraminíferos y eolitos de fosfato más oscuros o caramelizados brillantes y un segmento por debajo del 2% de P_2O_5 .

En tanto, la diatomita inca está formada generalmente por diatomita sin contenido de influencia contaminante, además de escamas de pescado, espículas de limpieza y láminas de crecimiento oceánico, todas fosfatadas, espléndidas, brillantes y resinosas. Esta unidad evidencia un grosor que se modifica en algún lugar en el rango de 4.5 y 17 m., presentándose un aumento en sus dimensiones en el segmento occidental de la región y descendiendo hacia el este superior, este comportamiento se debe al contenido de fosfato en todo el segmento.

Asimismo, la diatomita quechua integra en su mayor parte diatomeas sin alteración con un par de capas de fosfito. Su mayor grosor es de 19 m y está ubicado en el lado este superior de la gigantesca solución salina. Por otro lado, contiene diferentes restos de osamentas, restos de pescado y enormes granos de cuarzo.

En la parte más alta, exhibida por la unidad de Miocena en la tesis de Sechura, se halla la unidad de diatomita estéril. Este tipo de diatomita no está intervenida, es blanca en capas delgadas y ligeras, con manchas de color naranja o amarillo, incluso rojizas; de igual modo, en la región I, junto al arroyo San Andrés, evidencia franjas de color verde oliva consideradas originadas por la oxidación del problema natural.

2.2.2. Materiales Refractarios y Aislantes Térmicos

Materiales Refractarios

Definición

Antes de comenzar a discutir o presentar diversas teorías acerca de término, se hace necesario presentar unas definiciones que le dan contexto a esta.

El estándar ITINTEC peruano (331.001-84) ubica a los materiales refractarios dentro de la categoría de materiales no metálicos adecuados para producir calentadores, con propiedad de no deformarse o licuarse al exponerse a altas temperaturas, entre otros podría ser de impacto peligroso, como área raspada, peso, asalto de sustancias y cambios bruscos de temperatura.

La norma española (UNE-61.001-75) denomina los materiales obstinados como materiales regulares o falsos, cuya recalcitrancia es similar o más prominente que 1500 ° C. Por lo general, se integran de silicatos de óxidos de tierra. Asimismo, se debe entender que un material obstinado se refiere a ese material policristalino, no metálico, inorgánico, de alta licuefacción, y generados; mayoritariamente, de un polvo que se

origina por exprimir, y que luego expuesto a cocción a alta temperatura (Saavedra, 1976).

Características Estructurales: Los materiales de Refractarios moldeados fundamentalmente tienen tres etapas perfectamente caracterizadas:

- a) Constituyente disperso (típicamente hecho de óxidos directos).
- b) Constituyente matricial (materiales complejos de naturaleza cristalina).
- c) Porosidad.

Clasificación:

Existen una multitud de criterios para distinguir los tipos de materiales aislantes en ocasiones por sus propiedades específicas. Por esta razón, se podría recopilar y agrupar la disposición de materiales aislantes según lo indicado por varios criterios, por ejemplo:

- De acuerdo con lo acordado para su preparación.
- Por sus propiedades de base corrosivas.
- En base a los atributos físicos del artículo completado.
- Por la porosidad de los artículos moldeados.
- Por el procedimiento de montaje utilizado

Materiales Refractarios Aislantes

Definición

Es considerado un material ligero e inmanejable, con baja conductividad, bajo límite de calor y alta porosidad. De otra parte, se identifica dentro de la categoría de material obstinado, cuya porosidad total es similar o supera el 45% en volumen.

Clasificación

Se diferencian a base de criterios dados para materiales rebeldes, por ejemplo:

- Por su síntesis de brebaje.
- Por sus propiedades base corrosivas.

– Por los atributos físicos del artículo completado.

Propiedades

Por lo general, un bloque obstinado protector presenta una oposición mecánica extensa y hacia la temperatura a la que se descubrirá. Los bloques regulares de Refractarios poseen una porosidad que se modifica del 15 al 25%, relacionado con la conductividad cálida. Sin embargo, al expandir la porosidad absoluta al 50-60%, se podría disminuir a una décima parte de la primera estima, lo que puede valorarse.

Aislamiento Térmico

Fines

La protección cálida abarca cinco necesidades primordiales: ampliar la comodidad en los hogares, conservar el calor o alguna otra clase de vitalidad, impulsar al control de temperatura en un procedimiento de sustancia, minimizar la temperatura del cuerpo de una embarcación bajo tensión y controlar la temperatura exterior del espacio resguardado. Ello con el fin de mantener una distancia estratégica del riesgo para el personal, garantizar la cercanía de personas auxiliares contra temperaturas elevadas, disminuir la temperatura en el entorno de trabajo y, finalmente para que el hardware que funciona por debajo de la temperatura ambiente, evite que transpire la superficie más ardiente o se conserve con hielo.

Es complejo aislar los materiales protectores calientes en clases bien determinadas, ya que se manejan a temperaturas entre -185°C o inferiores, y 1625°C , por lo que se mostrará una relación no exclusiva de dichos materiales.

Existen variedad de materiales usados, entre ellos las envolturas como el tapón y los artículos obtenidos de él; el vellón mineral en sus variadas estructuras, la vermiculita ensanchada o prensada, plásticos elásticos; así como diferentes tipos de papeles naturales (normales, ondulados o arrugados), papel de aluminio, 85% de magnesio., perlita expandida, vidrio celular, elementos de diatomita y elementos de suciedad permeables para altas temperaturas.

.

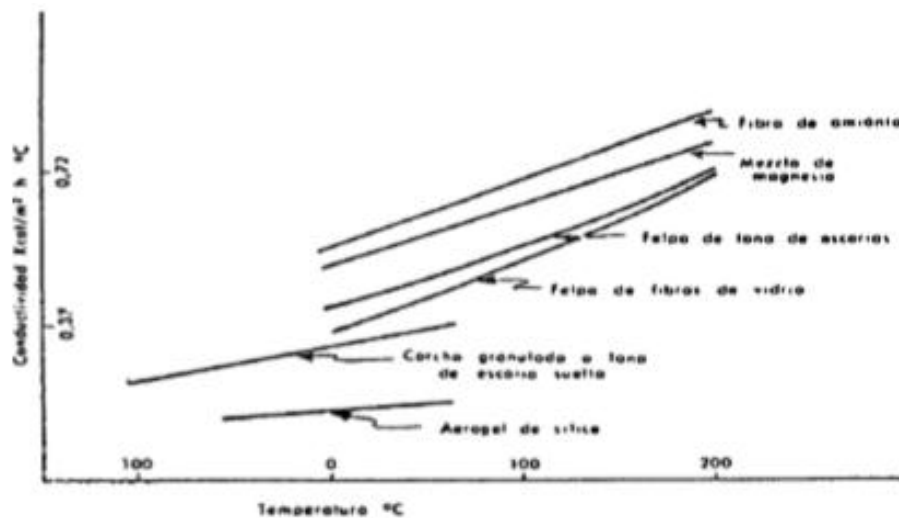


Figura 4: Demuestra la variedad de la conductividad cálida de algunos materiales protectores, a bajas temperaturas.

Fuente: Fuente: Lorenz y Gwosdz (2004).

Estudio de las características de los materiales refractarios y aislantes térmicos

En este apartado, se tendrá una atención a las cualidades de los materiales contenidos dentro de los refractarios, resguardando los refractarios y las cubiertas calientes no metálicas, aludidas de forma no exclusiva a los materiales de refractarios, que son solo aquellos que necesitan atributos cada vez más completos, ya que resisten todas las condiciones.

Propiedades Fundamentales

Estructurales

Composición Química

Refiere a la composición o a los elementos de los cuales se forma o constituye en mineral para poder saber o predecir sus comportamientos antes diferentes circunstancias.

Composición Mineralógica

Esta propiedad puede verse a través de instrumentos de difracción de rayos X (DR-X) y, en la actualidad, mediante una evaluación de tipo cuantitativo por microsondas (SEMEDAX).

Densidad

El volumen total o mundial (VT) de un material inmanejable abarca los siguientes: $VT = V_m + V_{pc} + V_{pa}$ donde, V_m es el volumen relacionado a la masa del refractario (o volumen másico), V_{pc} es el volumen relacionado a los poros cerrados (no comunicados con el exterior) y V_{pa} es el volumen relacionado a los poros abiertos (accesibles desde el exterior). Por lo cual, la definición de densidad (masa por unidad de volumen), puede plantearse:

La densidad real: $D_r = M / V_m$

La densidad aparente: $D_a = M / V_m + V_{pc}$

La densidad global: $D_g = M / V_t$

Porosidad

Lo que se denomina la porosidad abierta (P_a) se fundamenta por la conexión entre la cantidad de poros transportados al exterior y su volumen total (V_t) relacionado como un nivel del último mencionado (Norma ITINTEC 331.020-77). De forma idéntica, la porosidad total (P_t) se fundamenta en la conexión entre la totalidad de los volúmenes de poros abiertos y cerrados en su volumen absoluto (V_t), al igual que la porosidad cerrada (P_c) que es la conexión entre:

$(V_{pc}/V_T) * 100$ es decir:

$$\%P_a = (V_{pa}/V_T) * 100 = (1 - D_g/D_a) * 100$$

$$\%P_c = (V_{pc}/V_T) * 100 = D_g * (1/D_a - 1/D_r) * 100 = P_t - P_a$$

$$\%P_t = ((V_{pc} + V_{pa}) / V_t) * 100 = (1 - D_g/D_r) * 100$$

Permeabilidad al Aire

La finalidad de esta propiedad está basada en cuantificar la medida de la corriente de gas que tiene la capacidad de atravesar un material aislante, bajo el impacto de un contraste de peso utilizando como una unidad de estimación de porosidad (L^2T^{-2} , L = Longitud y T = tiempo).

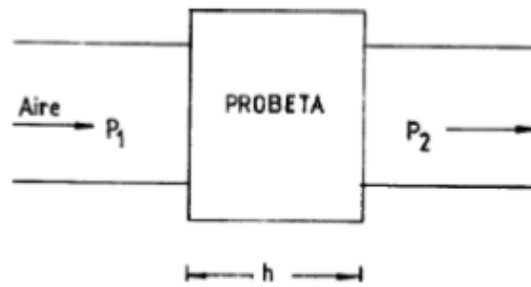


Figura 5: Medición porosidad abierta
Fuente: Fuente: Lorenz y Gwosdz (2004).

La porosidad de un cuerpo de material refractario es una característica relacionada con cantidad de poros del material y su tamaño. En consecuencia, existen materiales obstinados con alta porosidad; sin embargo existen materiales con baja porosidad y artículos con alta penetrabilidad y baja porosidad.

Propiedades Fundamentales Térmicas

Dilatación lineal reversible y permanente.

Las transformaciones reversibles ocurridas durante el calentamiento de materiales rebeldes son generadas primordialmente por dos causas:

1. En el fomento cálido de las iotas ubicadas en los centros de la sección transversal de la piedra preciosa.
2. Las transformaciones que, en función al fomento cálido, se generan reversiblemente dentro de las estructuras cristalinas que ofertan ascender a variados surtidos alotrópicos dentro de la etapa cristalina equivalente.

Calor Especifico.

El calor particular (Ce) de un material no adulterado se fundamenta como la medida del calor que se conducirá a la unidad de masa para aumentar su temperatura en un grado.

$$Ce = \text{calorías/ (unidad de masa) } ^\circ\text{C}$$

De manera semejante a "la regla de DULONG y PETIT" para los metales: PA. Ce = $6.1(+ \text{ ó } -)0.3\text{Cal/ atm. g. } ^\circ\text{C}$ donde PA es el peso atómico del metal.

Para un óxido refractario de estequiometria Mey Ox

$$PM / (x + y) Ce = 6.1(+ \text{ ó } -)0.3\text{Cal/ atm. g. } ^\circ\text{C}$$

Siendo, PM el peso molecular del óxido considerado. En el caso de los óxidos refractarios: MgO, SiO₂ y Al₂O₃, se tiene:

Compuestos	PM	PM/(X+Y)
Al ₂ O ₃	102	20
MgO	40	20
SiO ₂	60	20

Tabla 4: Peso molecular en función al óxido
Fuente: Elaboración propia

Entonces, el calentamiento particular, Ce, de estos tres óxidos debe ser primordialmente similar y equivalente, como lo evidencia la articulación, a 0.31 Cal / g. ° C. Los cálculos de calor explícito normales, estimadas en 20 ° C para sílice, refractarios con alto contenido de alúmina y magnesita son:

Compuestos	Rango temperatura de fusión °C	Ce (Cal/g. °C)
Sílice	25 – 1100	0.28
Alúmina	25 – 1100	0.26
Magnesita	25 – 1100	0.33

Tabla 5: Rango de temperatura y calores específicos
Fuente: Elaboración propia.

Conductividad Térmica

La transmisión o transición de calor, denominada q (medida del calor que atraviesa una unidad de superficie en la unidad de tiempo) a lo largo de un material aislante, se puede calcular con los componentes que lo acompañan: Conducción: $q = k \cdot dt / dx$ (primera ley de FOURIER).

$$q = h \cdot (T_A - T_B)$$

En el grupo de los materiales rebeldes, el componente típico para el vehículo de calor es la conducción, que es la razón por la que normalmente se realiza la estimación de

prueba de la consistencia, K , del primero. Ley de Fourier, a través de las técnicas de valoración generales que se acompañan:

- Estrategias estáticas: (estado inquebrantable) a la luz de la primera Ley de Fourier (tiempos de estimación largos para bajas estimaciones de K).
- Técnicas dinámicas: (en estado no estacionario) si se recuerda la segunda Ley de Fourier.

Para un material aislantes, la conductividad cálida es un componente de la temperatura y la porosidad absoluta del bloque recalcitrante. Se habla del diagrama de la conductividad cálida como un componente de la porosidad total del artículo y la temperatura normal del artículo.

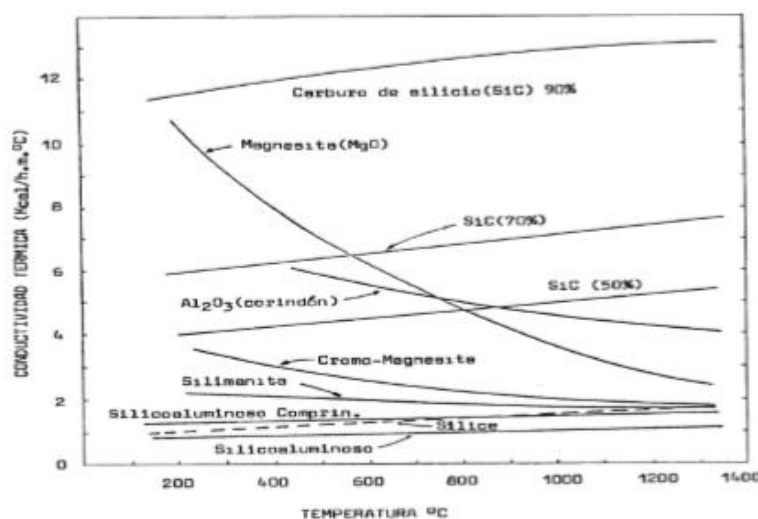


Figura 6: Conductividad térmica de materiales refractarios en función de la temperatura.
Fuente: Fuente: Lorenz y Gwosdz (2004).

2.3. Glosario de términos

Materiales refractarios: La norma peruana ITINTEC (331.001-84) los define como aquellos materiales no metálicos idóneos para utilizarse en la construcción de hornos, ya que no se deforman ni funden cuando se exponen a la acción de temperaturas elevadas.

Materiales Refractarios aislantes: según la norma ITINTEC 331.001-84, los define como un material refractario liviano, caracterizado por su baja conductividad térmica, baja capacidad calorífica y alta porosidad.

Composición Química: refiere a la composición o a los elementos de los cuales se forma o constituye en mineral.

Diatomita: es un conjunto de sustancias minerales no metálicas, compuestas en su mayor proporción por frústulas o micro esqueletos silicios de diatomeas. Su unidad fundamental es el agrupamiento de iones silicio-oxígeno de fórmula $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Calor Específico: se refiere al calor particular (Ce) de un material no adulterado se fundamenta como la medida del calor que se conducirá a la unidad de masa para aumentar su temperatura en un grado.

Composición Mineralógica: esta propiedad puede verse a través de instrumentos de difracción de rayos X (DR-X) y, en la actualidad mediante una evaluación de tipo cuantitativo por microsondas (SEMEDAX).

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación estudia las propiedades físico-químico de la diatomita, además de establecer comparaciones con investigaciones de larga data y, a su vez, darle un mejor valor agregado como producto terminado en los procesos industriales.

3.1. Enfoque y Diseño

El estudio es de tipo cuantitativo, debido a que se presentan datos referentes a las propiedades físico-químicas, entre otras medidas, en los laboratorios de la diatomita para así establecer su relación como material refractante y a su vez, como aislante térmico. Por otra parte, es experimental ya que se estudia una muestra del material para ver los valores y comportamiento de sus propiedades y a su vez, compararla con una ya evaluada hace aproximadamente 30 años.

Además, es descriptivo porque caracteriza esas propiedades mencionadas de la diatomita y su aplicación en los procesos industriales como aislante térmico. Cabe señalar, que es de tipo transversal, porque se basa en una muestra de este año, a pesar que se analizará en comparación con una tomada por un estudio hace 30 años (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

3.2. Sujetos de la investigación

La investigación realizada se desarrolló en el distrito de Bayóvar, específicamente en el desierto de Sechura en la cual existe unos yacimientos importantes de diatomitas.

3.3. Métodos y procedimientos

La recolección de datos se hizo a través del muestreo en campo, que al extraer el bloque de diatomita se analizó en el laboratorio con algunas pruebas como espectrofotometría, que evidenciaron las cualidades de la diatomita de Bayóvar, así como su comportamiento dentro del uso específico.

Por otro lado, el muestreo -dada la magnitud del yacimiento- se realizó mediante la selección de una zona de muestreo. Para esta actividad fue necesaria la asistencia de personal calificado de la empresa PROBAYOVAR S.A. No obstante, en el caso del estudio de Viera, para el nuevo muestreo se contó con el apoyo de COMACSA.

Adicionalmente, se preparó un cronograma de trabajo que constaba de las siguientes etapas:

- 1.- Reconocimiento visual de las zonas del yacimiento.
- 2.- Identificación de las zonas donde se seleccionaron las muestras.
- 3.- Toma de muestras.

Se seleccionó solo una zona, por el motivo que en esta se compararía en función de los resultados arrojados de un estudio del investigador Viera hace 30 años.

De otra parte, conviene destacar que la única forma de determinar si un material es adecuado para un uso, es hacer una prueba de su utilización y observar los resultados generados, ello debido que en un laboratorio es imposible reproducir el nivel de solicitaciones que van a actuar sobre el material durante su procesamiento industrial. Cabe agregar, que a efectos de esta investigación no se ensayó, pero sí se midió las propiedades físicas y químicas para luego ver la comparación con el ensayo del autor que lo realizó hace 30 años y poder observar si existe una continuidad.

3.4. Técnicas e instrumentos

En el caso del análisis mineralógico, al mineral se le aplicó técnicas de análisis térmico diferencial DTA (cualitativo) y difracción de rayos-X; y en caso de las propiedades químicas, como se refirió anteriormente en el apartado anterior, espectrofotometría.

En el caso de la densidad real, esta se realizó mediante la aplicación del Método del Picnómetro. Todos estos procedimientos son realizados con los debidos equipos de laboratorios calibrados para tales fines.

3.5. Aspectos éticos

La información o datos recabados son de carácter académico, para tal uso de la comprobación de los objetivos planteados.

CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo, se intenta explorar el comportamiento o bondades de la diatomita de Bayóvar hacia su uso como materia prima para materiales refractantes o aislantes y a su vez, generar algunos aportes o reflexiones acerca de la calidad de este mineral.

La evaluación técnica de las tierras de diatomeas de Bayóvar, se orientó hacia la comprobación experimental de las características que evidencian la calidad de los materiales consolidados, las variaciones continuas más importantes que experimentan parámetros con la temperatura, mediante la realización de ensayos de prensado-sinterizado de las tierras granulares; ello con la finalidad de generar conclusiones para determinar el uso de las aplicaciones térmicas de las mismas. En este caso, se tomará un estudio base elaborado por el investigador Jorge Viera en el año de 1987, siendo el único hasta la actualidad existente, y se va contrastar con un muestreo actual.

Por otra parte, el estudio y descripción del comportamiento de un material aislante es total cuando a partir de un número mínimo de registros con respecto a sus propiedades primordiales o simuladas, se puede precisar el comportamiento que mantendrá en servicio. Es importante mencionar que tanto los análisis químico, mineralógico y superficial, como el cálculo de la conductividad térmica y los otros ensayos de prensado-sinterizado, se realizaron en el Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Oviedo de España en el caso del estudio a referir, porque el análisis químico, mineralógico y superficial de la muestra actual se realizó en los laboratorios Comacsa Agregados Calcáreos S.A.

Zonas de Muestreo

En vista de la magnitud del yacimiento, se seleccionaron las áreas de muestreo, para ello se contó con el apoyo del personal capacitado de las empresas MINERO PERU S.A. y PROBAYOVAR S.A. Todo esto es con referencia al estudio consultado.

Para la realización del muestreo se tuvieron limitaciones, ello debido que no se contó con una perforadora que facilitara obtener muestras con pocas alteraciones a profundidades mayores. Las zonas muestreadas fueron las siguientes:

A) "**Cueva de los Incas**": afloramiento natural formado por efecto de la erosión de agua y viento, originada en el Estrato Inca. Se localiza en el Tablazo (Área III) cuyas coordenadas son:

1'427,666.45 N

181,248.33 E

+ 53.39 m de elevación

Esto ubicado casi a media distancia entre el área II y el área I. Es decir, a 7 km. noroeste con respecto al área I (1'433,350 N- 178,000 E) y a 10 km. sureste al área II (1'419,000 N- 187,000 E). Se tiene como profundidad de muestreo: - 5 m de la superficie.

B) **Área I**: en esta zona se ha extraído el fosfato superficial, quedando visible la sección de diatomita. En este lugar se extrajeron dos muestras, a saber:

MUESTRA I

1'433,750 N- 178,060 E

Profundidad: - 5.00 m de la superficie

MUESTRA II

1'433,650 N- 178,050 E

Profundidad: - 6.40 m de la superficie



Figura 7: Muestra de un bloque de diatomita que se corresponde con la Zona Inca.
Fuente: Trabajo de campo.

Determinación Experimental de Propiedades Fundamentales Estructurales

En principio se va dirigir a las muestras del trabajo consultado de Viera para el año de 1987, y posteriormente las muestra analizadas a objeto de esta investigación en la actualidad.

Análisis Químico

El análisis químico de una diatomita, no es un factor determinante para inferir comportamiento o predecir para la funcionalidad para muchas operaciones. Entonces, lo que se debe esperar es encontrar las menores concentraciones de componentes no silíceos.

Mediante el proceso de espectrofotometría de absorción atómica, se calculan los niveles de: hierro, magnesio, aluminio, sodio, calcio, potasio y silicio. Por su parte, el análisis de sulfatos y cloruros se realiza en muestras diferenciadas mediante la aplicación de métodos químicos convencionales. Los cloruros se calculan volumétricamente con nitrato de plata y los sulfatos gravimétricamente precipitándolos con cloruro de Bario.

Elemento	% en peso	
	Diatomeas en polvo	Diatomeas Consolidadas
SiO ₂	71	64
K ₂ O	1.44	0.96
NaCl	2.8	1.4
Na ₂ O	3.74	1.33
CaO	1.55	6.95
MgO	0.82	0.85
Al ₂ O ₃	4.72	6.61
CaSO ₄	4.95	5.66
Fe ₂ O ₃	2.14	2.1

(Posiblemente Fe⁺²)

Tabla 6: Análisis químicos de dos muestras de tierras de diatomeas de la zona denominada "Cueva de los Incas".

Fuente: Elaboración propia.

En el Laboratorio de Química de la Universidad de Piura, en el momento de la investigación referida de Viera, se venía efectuando un estudio relacionado con la evaluación cualitativa de las tierras diatomeas de Bayóvar, así como los métodos apropiados para su purificación y tratamiento.

Análisis Mineralógico

El análisis de los minerales contenidos en las muestras de diatomeas, se ha verificado mediante la utilización de técnicas de análisis térmico diferencial DTA (cualitativo) y difracción de rayos-X.

En las figuras 8 y 9 se presenta el análisis térmico diferencial y gravimétrico de diferentes muestras, una en forma pulverizada y una consolidada natural, originarias de la cueva de los Incas. El registro de la temperatura en los diagramas mostrados, se obtuvo a partir de la información suministrada en la tabla 7, lo que permite ofrecer la equivalencia de las divisiones del eje vertical con la temperatura. En ambos diagramas se muestran con:

TG: Pérdida de peso (cualitativo).

DTG: Derivada del registro gravimétrico.

DTA: Diferencia de temperatura entre la tierra de diatomeas y un patrón térmicamente inerte (corindón).

En la figura 8, que representa la muestra pulverizada, se evidencian dos tipos de reacciones:

- **A baja temperatura:** La disminución del agua en la sílice amorfa (no cristalina) a una temperatura de 150°C (+ 5.2 divisiones) con reacción endotérmica, y la reacción exotérmica a consecuencia de la combustión de materiales orgánica, a la temperatura de 300°C (+ 12 divisiones).
- **A alta temperatura:** La pérdida de peso del registro TG (gravimétrico) sigue aún a temperaturas superiores a los 800°C. A consecuencia podría ser de la descomposición de cloruros y sulfatos contenidos en la muestra.

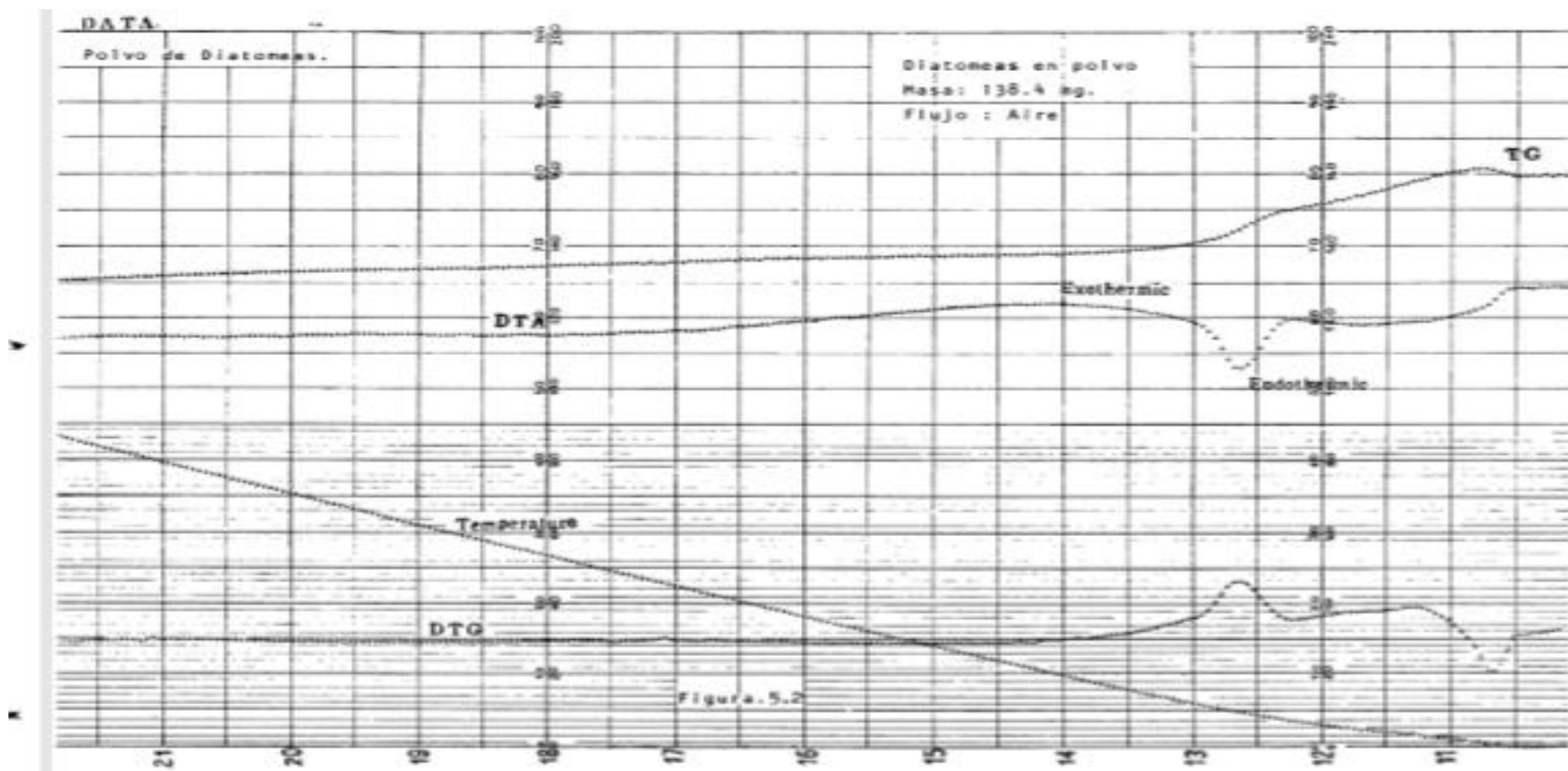


Figura 8:El análisis térmico diferencial y gravimétrico de la muestra pulverizada

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

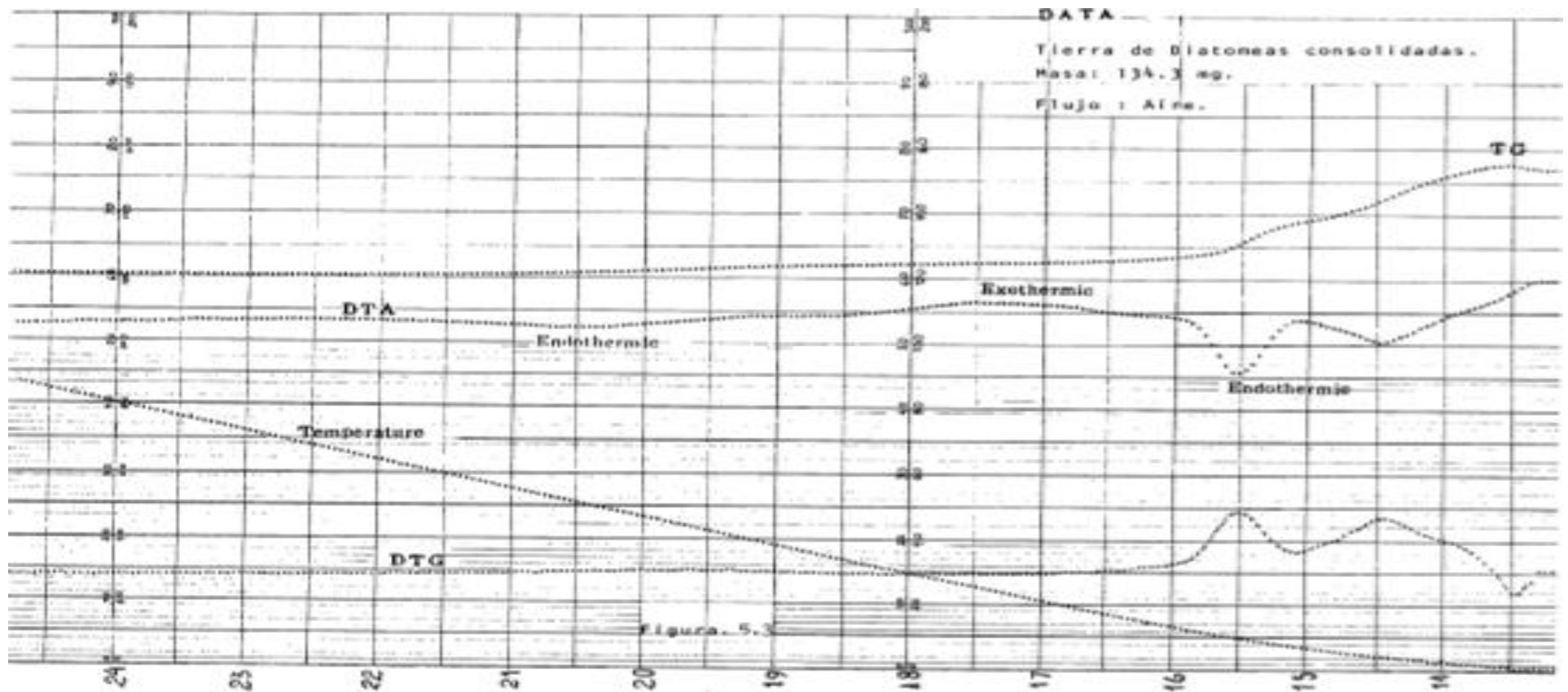


Figura 9: El análisis térmico diferencial y gravimétrico de la muestra consolidada.

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

Temperatura °C	Numero de divisiones	Temperatura °C	Numero de divisiones
0	0.0+	900	45.9+
50	1.5+	950	49.1+
100	3.2+	1000	52.4+
150	5.2+	1050	55.7+
200	7.3+	1100	59.1+
250	9.6+	1150	62.5+
300	12.0+	1200	66.0+
350	14.5+	1250	69.4+
400	17.0+	1300	72.9+
450	19.6+	1350	76.4+
500	22.3+	1400	79.8+
550	25.0+	1450	83.3+
600	27.8+	1500	86.8+
650	30.7+	1550	90.2+
700	33.6+	1600	93.6+
750	36.6+	1650-	97.0+
800	39.6+	1700-	100.5-
850	42.7+		

Tabla 7: Cálculo de la temperatura de los diagramas de análisis térmico de las figuras 8 y 9.
Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

En la figura 7, relacionada a la muestra de diatomeas consolidadas, se evidencian reacciones a alta temperatura (mayor de 800°C), por razón que los datos obtenidos TG muestran tendencia a estabilización a temperaturas mayores a los 700°C. Por el contrario, a bajas temperatura se evidencian tres tipos de reacciones:

- Dos endotérmicas: una a 150°C (deshidratación de la Sílice) y otra a 550°C (deshidratación de arcillas).
- Una exotérmica: combustión de materiales orgánicos. El análisis por medio de difracción de rayos - X (Fig. 11), evidencia la existencia, en la muestra de diatomeas en forma de polvo, de tres especies minerales: Cuarzo (SiO_2), Cloruro de Sodio (NaCl) y Sulfato de Calcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$).

-La presencia de cloruros se evidenció lavando una pequeña proporción de muestra con agua. En el difractograma del residuo seco no se evidencia el pico relacionado al cloruro de sodio (Fig. 12).

El análisis por difracción de rayos - X, además de identificar cualitativamente las diferentes clases de minerales, la intensidad relativa de los picos refleja el grado de abundancia dentro de la muestra.

En lo que respecta a la sílice, la única estructura cristalina que se muestra es el cuarzo, y además en muy pequeña proporción. Esto indica decir que la mayoría de SiO_2 presente en la muestra se encuentra bajo la forma de sílice amorfa (no cristalina).

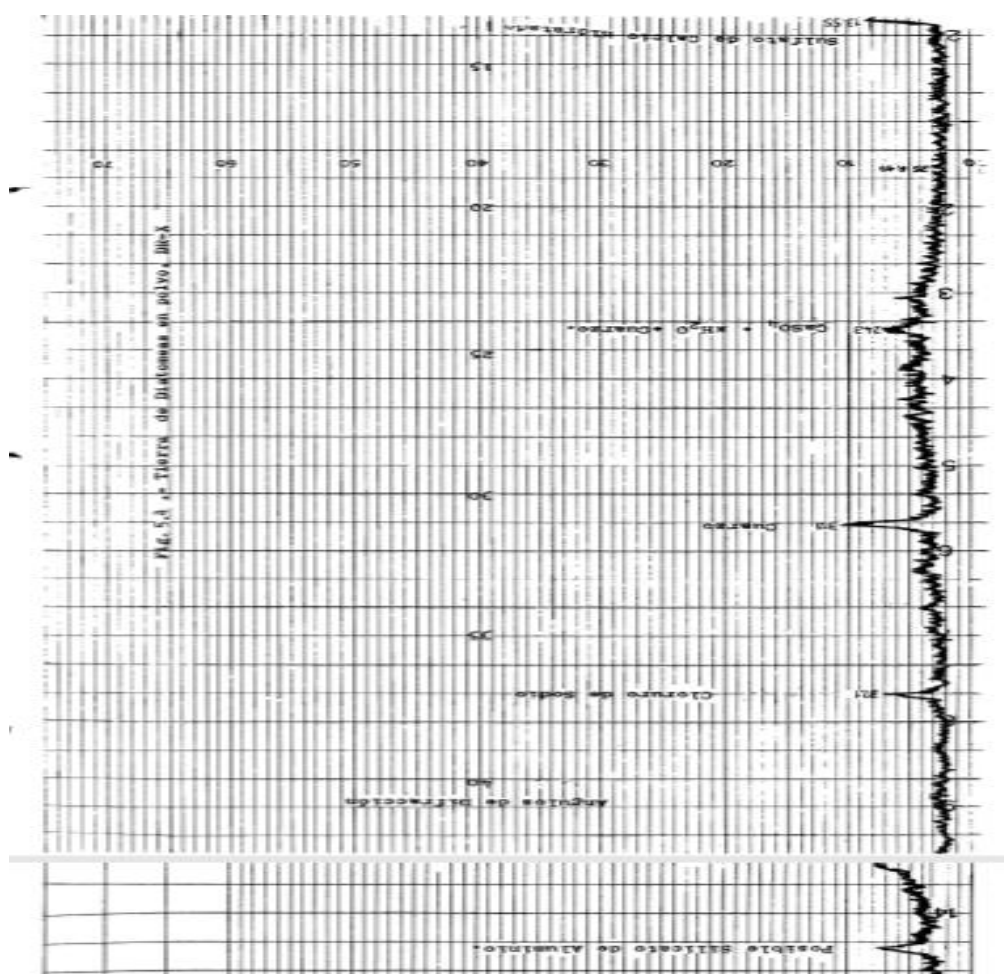


Figura 10:Tierra de Diatomeas en polvo. DR-X

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

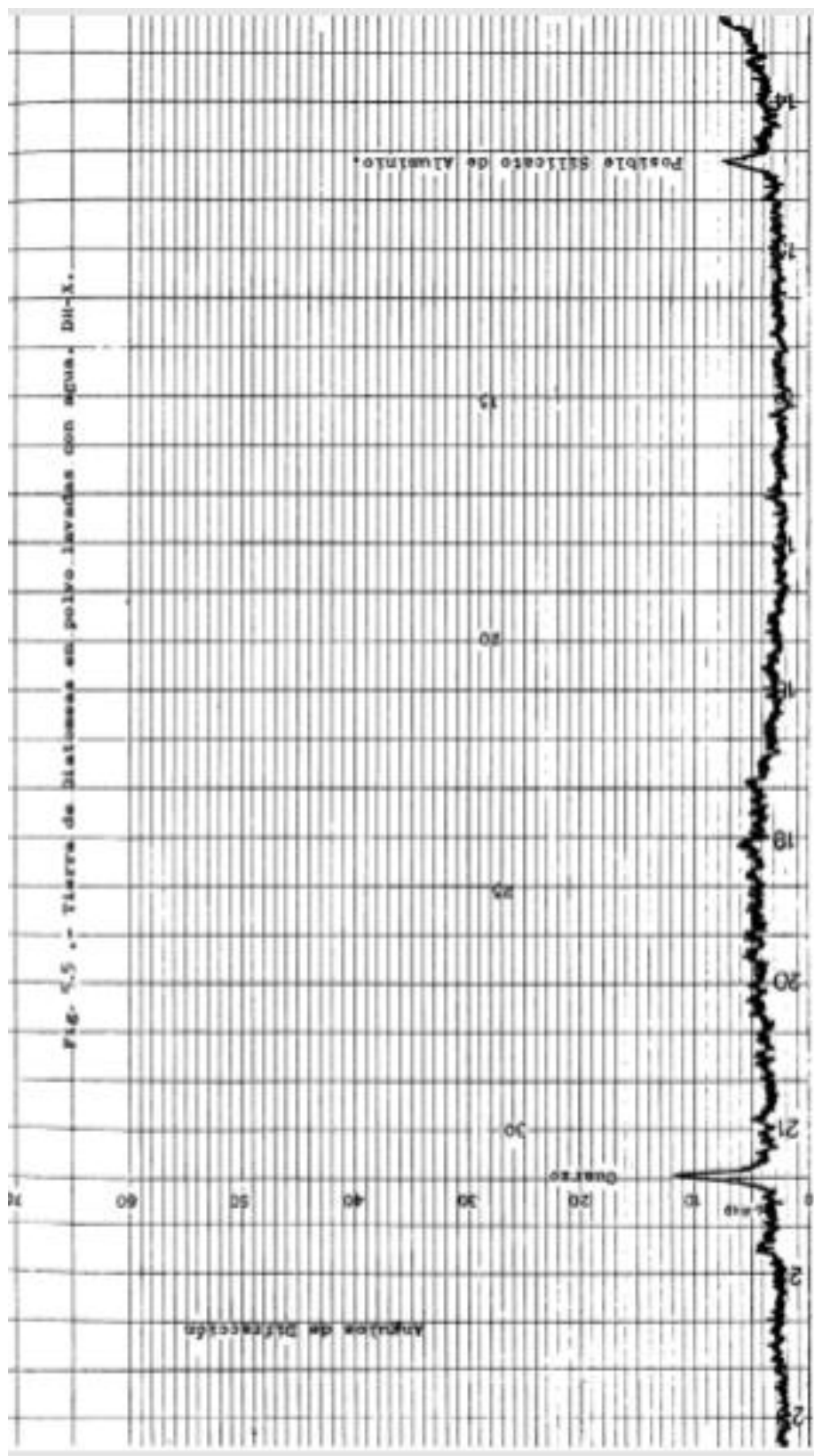


Figura 11. Tierra de Diatomeas en polvo lavadas con agua. DR-X.

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

Pérdida porcentual de peso en función de la temperatura de tratamiento

Este análisis, requiere calcular la variación porcentual promedio de peso experimentada por las diatomeas, al ser expuestas al calentamiento a temperatura y tiempo específicos.

El procedimiento efectuado para calcular los niveles de pérdida de peso a una temperatura determinada después de secado, se presenta a continuación:

- 1.- Se selecciona un trozo de la muestra que tenga un volumen global sea superior o similar a 200 cm³ y se limpia su superficie externa.
- 2.- Se seca previamente a 110+ - 2°C durante dos horas, seguidamente se pone al desecador durante una hora, por último, se pesa.
- 3.- Se repite el paso 2, hasta alcanzar peso constante y se hacen las anotaciones del peso (w₁).
- 4.- Se expone a calentamiento a una temperatura T durante dos horas, se saca y se lleva al desecador durante una hora y posteriormente se pesa (W₂).
- 5.- La pérdida porcentual de peso, sobre una muestra seca a 110°C, será:

$$\% \text{ pérdida de peso: } (1 - W_2/W_1) \times 100$$

Por la heterogeneidad de las muestras se manejó estadísticamente, para así obtener valores promedios de la pérdida porcentual de peso en relación de la temperatura de tratamiento. Es decir, ensayar variadas muestras con una misma temperatura y tomar anotaciones de su pérdida de peso, sobre muestra seca a 110°C.

El análisis de la pérdida porcentual promedio de peso de las muestras estudiadas, se fundamenta en la figura 12, que se refiere a las Tablas 8 y 9 respectivamente.

La figura 12, referente a la Tabla 8, evidencia el análisis de la pérdida porcentual promedio de peso que experimentan las muestras de diatomeas consolidada natural originarias del lugar denominado "Cueva de los Incas". Se observa que, a temperaturas superiores a los 900°C, este porcentaje se conserva constante e igual al 6%.

En la figura 12, relacionado a la Tabla 9, se representa el análisis de la variación porcentual promedio de peso que experimenta la diatomita consolidada natural proveniente del Área I. Se aprecia, que, a partir de los 900°C, tiende a estabilizarse y lo hace con un 8.5%, después de secado.

Por otro lado, posterior al tratamiento térmico a temperaturas similares o superiores a 800°C, las caras de las probetas evidencian grietas, por efecto de la contracción que éstas experimentan.

Al observarse el comportamiento de las variaciones de los valores con respecto de la media se reflexiona que: tanto la diatomita Inca como la del Área I a temperatura que van dentro del rango de 500 a 700°C, muestran las mayores desviaciones (σ_n) lo que evidencia la presencia mínima de impurezas ya que a estas temperaturas se deshidratan.

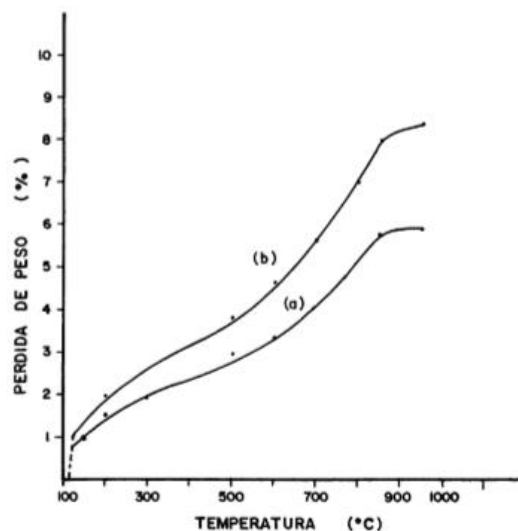


Figura 12: Variación porcentual promedio de la pérdida de peso, sobre muestra seca a 110°C, con la temperatura de cocción de la Tierra de Diatomeas del Desierto de Sechura. (a) Zona Inca; (b) Área I.

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

	120°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C	750°C	800°C	850°C	900°C	950°C
	0.59	1.03	1.38	1.47	1.53	1.98	2.77	2.93	4.00	5.42	5.42	5.44
	0.63	1.28	1.5	1.52	1.80	2.18	3.43	3.64	4.6	5.82	5.83	5.83
	0.38	1.58	2.15	2.17	3.98	4.53	4.95	5.01	5.21	6.65	6.67	6.76
	0.11	1.76	1.95	2.01	3.03	3.68	5.16	5.2	5.36	5.63	5.9	5.9
	0.11	0.99	1.56	1.97	2.52	2.85	4.11	4.38	5.09	5.22	5.27	5.27
	1.62	1.00	1.72	2.11	2.17	2.22	3.55	3.76	4.77	4.86	4.89	4.93
	0.14	1.00	1.97	2.08	2.21	2.31	3.16	3.28	4.54	5.49	5.5	5.53
	1.09	2.00	2.02	3.07	3.18	3.58	4.02	4.37	5.58	6.26	6.35	6.35
	0.27	1.88	2.01	2.98	4.01	4.27	5.02	5.36	6.04	6.53	6.73	6.74
	1.24	1.71	1.98	3.08	3.13	3.59	4.17	5.18	5.93	6.03	6.32	6.32
	1.29	1.65	2.25	2.98	3.06	3.86	4.03	4.58	5.47	5.47	5.47	5.49
	1.07	1.55	2.24	2.88	4.72	4.83	4.95	5.28	5.53	5.89	5.97	6.02
PROM:	0.71	1.45	1.89	2.36	2.95	3.32	4.11	4.41	5.18	5.77	5.86	5.88
σ₂:	0.51	0.36	0.28	0.58	0.92	0.95	0.75	0.8	0.58	0.51	0.55	0.55

Tabla 8: Pérdida porcentual de peso, sobre muestra seca a 110°C, a diferentes temperaturas de cocción de la Diatomita en el Desierto de Sechura: Zona Inca.
Fuente: Elaboración propia.

Zona de Muestreo	120°C	200°C	300°C	400°C	500°C	6000°C	700°C	800°C	850°C	900°C	950°C
I	0.87	1.87	2.32	3.26	3.36	4.56	5.12	7.07	8.01	8.30	8.39
	0.91	1.85	2.52	2.98	3.38	4.54	5.28	7.36	7.9	8.18	8.37
	0.79	1.72	2.47	3.01	3.71	4.57	5.82	6.67	7.75	8.20	8.34
	0.93	1.90	2.62	3.08	4.02	4.81	5.21	6.97	7.8	8.28	8.34
	1.07	1.87	2.40	3.27	3.80	4.39	5.75	7.15	8.15	8.21	8.40
	1.27	2.15	2.51	3.01	3.67	4.29	5.98	7.06	8.10	8.25	8.34
	0.99	1.76	2.65	3.15	3.75	4.16	5.61	6.89	8.02	8.25	8.40
	0.98	1.97	2.7	3.27	3.66	4.58	5.15	6.87	8.15	8.33	8.45
	1.03	2.05	2.78	3.25	3.92	4.67	5.87	7.05	7.81	8.3	8.39
II	1.15	1.85	2.35	3.15	3.82	4.87	5.91	7.15	7.84	8.2	8.36
	0.97	1.92	2.60	3.29	3.95	4.70	5.65	7.16	8.17	8.27	8.36
	0.87	2.05	2.66	3.1	3.81	5.02	5.77	7.16	8.17	8.27	8.35
	1.27	2.11	2.53	3.02	3.97	5.1	5.4	6.84	8.15	8.21	8.34
	1.15	1.72	2.57	3.34	3.92	5.07	5.88	6.93	8.02	8.27	8.38
	1.25	1.8	2.7	3.25	4.15	4.72	5.86	6.75	7.85	8.32	8.34
PROM:	1.03	1.91	2.56	3.16	3.79	4.67	5.62	7.01	7.98	8.25	8.37
σ_2 :	0.15	0.13	0.13	0.12	0.21	0.27	0.29	0.18	0.14	0.05	0.03

Tabla 9: Pérdida porcentual de 2 eso 2 sobre muestra seca a 110°C 2 a diferentes temperaturas de cocción de la diatomita del desierto de Sechura: Área I.

Fuente: Elaboración propia.

Determinación de la Superficie Específica

Se observa en la figura 13, los resultados obtenidos, para una muestra de diatomita en polvo, originaria de la "Cueva de los Incas", de la superficie determinada (dato obtenido a partir de una muestra seca a 110°C). El valor de la superficie específica obtenido es de 22.6 m² /g. Se debe aclarar que el valor de la superficie específica es extraordinariamente grande, si se compara con la generada en la arena de cuarzo natural, que es molida hasta obtener tamaños de partículas inferiores de 100 micras, y cuyo valor no alcanza ni siquiera a 1 m² por gramo de muestra. En suma, se permite concluir que la elevada capacidad de reacción a presentar por las diatomeas analizadas, se presenta tanto en estado sólido como en forma acuosa.

SURFACE AREA ANALYZERS
Catalog Numbers 220/00000/0X and 220/50000/0X

Sample Identification Tierra de Diatomeas. Piura (Perú) DATE 22 - 10 - 77
BY M. P. Sandoval

Adsorbate N₂ (NITROGENO) Weights:
Sample Tube Number _____ Sample, Sample Tube & Stopper, W_i _____ g
Outgas Temperature 110°C °C Sample Tube & Stopper, W_i _____ g
Outgas Time 30 minutes Sample, W_i _____ g

Nº ANALYSIS PESO DE MUESTRA
1 1.5328 g.
2 2.6902 g.

ANALYSIS NUMBER	TOTAL SURFACE AREA (m ²)	SPECIFIC * SURFACE AREA (m ² /g)
1	34.7	22.6
2	60.6	22.6
Average		22.6

* The specific surface area of the sample is obtained by dividing the total surface area, indicated on the counter at the completion of an analysis, by the sample weight W_i.

Figura 13: Determinación de la Superficie Específica.

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

Determinación de la densidad real o cristalográfica y su variación con la temperatura

La densidad real es una característica primaria de la diatomita, por lo general, su valor es de 2.0 g/cm^3 para la diatomita natural y 2.30 g/cm^3 para la diatomita calcinada. Por lo cual, a través de este se pueden iniciar ensayos de consolidación de las diatomeas con vistas a la producción de ladrillos aislantes y de materiales refractarios. En este sentido, se debe considerar la porosidad total, % P_T del material consolidado es relación de la densidad real y de la densidad global o geométrica. Para este cálculo de empleo se utiliza el método del picnómetro, según la norma española UNE 61.032-75, ello con el fin de determinar su variación con la temperatura de tratamiento, además se precede según esta norma, no obstante, se mantiene la muestra a la temperatura T durante dos horas.

Se muestra la figura 14., siendo el resultado la determinación de la densidad real con el autopicnómetro, dato obtenido sobre muestra seca a 110°C , de una muestra de diatomita de la zona Inca. Mientras que en la Tabla 10., a modo de ejemplo, los resultados de dos determinaciones de densidad real por el método de picnómetro, según la norma UNE 61.032-75.

AutoPycnometer

Sample Identification Tierra de Diatomens Seca Date 12 - Junio - 1986
Plura (Perú) By M. P. García Cordero

Weights:	First Weighing	Second Weighing
Sample Cup & Sample, W	<u>21.6843</u> g	<u>21.2406</u> g
Sample Cup, W_c	<u>15.6283</u> g	<u>15.6271</u> g
Sample, $W_s = W - W_c$	<u>6.256</u> g	<u>5.614</u> g

Evacuation Time _____ minutes + _____ minutes = 3' minutes

ANALYSIS NUMBER	VOLUME, SAMPLE, $V_s = \frac{W_s}{\rho_s}$ (cm^3)	DENSITY, ρ_s (g/cm^3)
1	_____	<u>2.366</u>
2	_____	<u>2.367</u>
3	_____	<u>2.365</u>
4	_____	<u>2.367</u>
5	_____	<u>2.367</u>
Average	_____	<u>2.367</u>

Figura 14: Determinación de la densidad real con el autopicnómetro.

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

A continuación, se intenta:

- Identificación de la Muestra Tierra de diatomeas de Bayóvar.
- Cálculo de la temperatura de tratamiento en verde (secada a 110°C).

	ZONA				
	INCA			AREA I	
Parámetro N° Análisis	1	2		1	2
a(g)	23.8914	24.0216		23.3924	23.4374
b(g)	26.2774	26.2524		26.309	26.1888
c(g)	49.9210	49.8095		49.5038	49.6873
d(g)	48.5479	48.5252		47.9343	48.2063
Temperatura del baño (°C)	31	31		30	30
P	0.995348	0.995348		0.995646	0.995646
D _r (g/cm ³)	2.3447	2.3454		2.1557	2.1563
D _r (g/cm ³) Promedio:	2.3445			2.156	

Tabla 10: Densidad real por el Método del Picnómetro.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

a: Peso del picnómetro vacío

b: Peso del picnómetro + polvo

e: Peso del picnómetro + polvo + líquido

d: Peso del picnómetro lleno de líquido

P: Peso específico del líquido a la temperatura del baño (comparado

con el del agua destilada a 4°C).

$$D_r = \text{Densidad real} = \frac{(b - a)}{(d - a) - (c - d)} P$$

El análisis de la variación promedio de la densidad real de las muestras estudiadas, se evidencia en la figura 15, que se relaciona con las tablas 11 y 12.

La figura 15, relacionada con la tabla 11., se muestra la variación promedio de la densidad real de la diatomita Inca. En relación con la variación de la magnitud de este parámetro, se evidencia el aumento según dos tramos específicos y a partir de los 600°C esta magnitud aumenta aceleradamente.

La figura 15, relacionada con la tabla 12., se muestra la variación promedio de la densidad real de la diatomita del área I. Se evidencia que, a partir de los 700°C esta magnitud aumenta mucho más aceleradamente que en el primer tramo (110 a 700°C). -

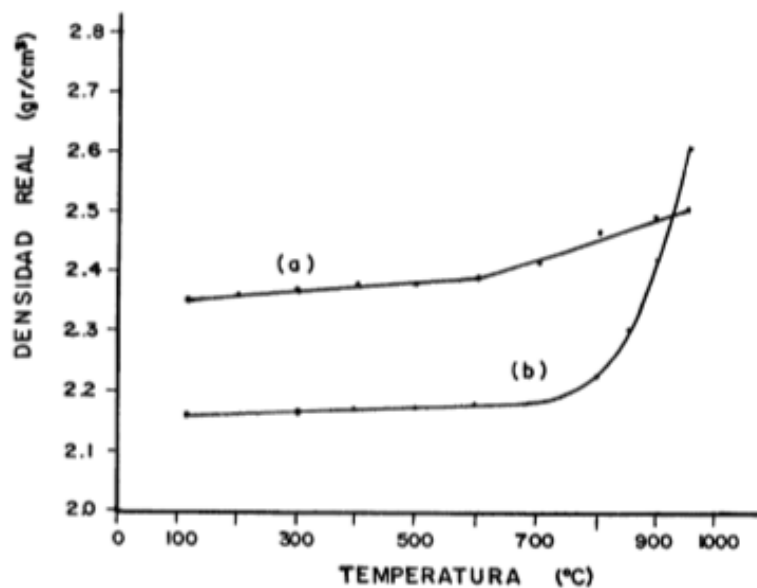


Figura 15: Variación promedio de la densidad real de la Tierra de Diatomeas del Desierto de Sechura con la temperatura de cocción. (a) Zona Inca; (b) Área I.

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

Temp. (°C)	Densidad Real (g/cm ³)				Promedio	σ_n
110	2.345	2.344	2.361	1.362	2.353	0.0085
200	2.356	2.363	2.360	2.361	2.360	0.0026
300	2.371	2.369	2.368	2.367	2.369	0.0015
400	2.378	2.379	2.377	2.378	2.378	0.0007
500	2.380	2.379	2.380	2.381	2.380	0.0007
600	2.427	2.390	2.377	2.375	2.392	0.0209
700	2.413	2.415	2.423	2.421	2.418	0.0041
800	2.463	2.462	2.469	2.47	2.466	0.0035
850	2.483	2.481	2.459	2.461	2.471	0.011
90	2.505	2.503	2.476	2.76	2.489	0.0157
950	2.519	2.506	2.512	2.512	2.509	0.0007

Tabla 11:Densidad real de la Diatomita "Inca" a diferentes temperaturas de cocción.

Fuente:

Temp. (°C)	Densidad Real (g/cm ³)				Promedio	σ_n
	Zona de Muestreo I	Zona de Muestreo II				
110	2.156	2.157	2.158	2.159	2.158	0.0011
200	2.159	2.159	2.158	2.159	2.159	0.0004
300	2.161	2.162	1.162	2.163	2.162	0.0007
400	2.166	2.167	2.167	2.168	2.167	0.0007
500	2.174	2.175	2.169	2.168	2.172	0.0030
600	2.177	2.176	2.174	2.175	2.176	0.0011
700	2.181	2.182	2.189	2.188	2.185	0.0035
800	2.224	2.225	2.232	2.231	2.228	0.0035
850	2.301	2.298	2.312	2.31	2.305	0.0059
90	2.42	2.421	2.424	2.423	2.422	0.0016
950	2.611	2.611	2.614	2.613	2.612	0.0013

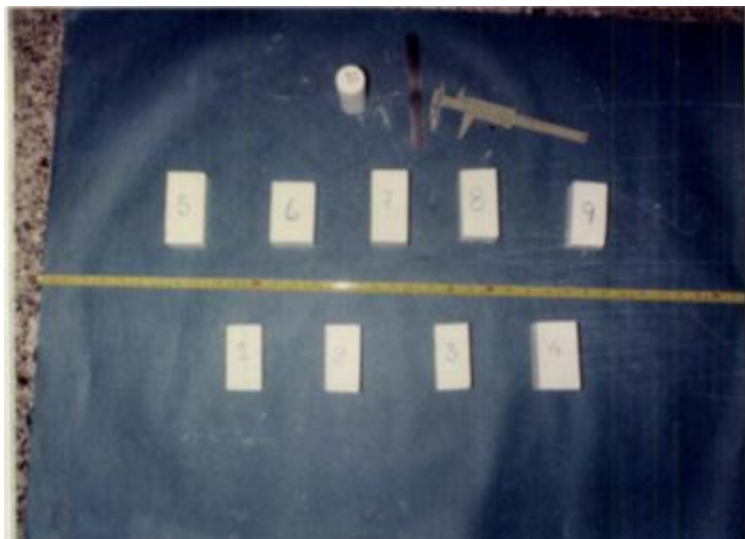
Tabla 12:Densidad real de la Diatomita "Área I" a diferentes temperaturas de cocción.

Fuente: Elaboración propia.

Determinación de la densidad global o geométrica y su variación con la temperatura de tratamiento

Para calcular la densidad global o geométrica se debe considerar el grado de contaminantes sólidos tales como arena, arcilla y otras impurezas. En ese sentido, se mostraría el tipo de diatomeas y el endurecimiento por medio del grado de consolidación. Lo cual sería conveniente que sea bajo grado de consolidación. Las diatomeas cuando están muy consolidadas cuesta molerlas lo que trae consigo la degradación de la estructura esquelética. Entonces, la densidad global ideal varía entre 0.32 y 0.55 g/cm³ (20 y 34 lb/ft³). Cabe añadir, que este parámetro es útil en la determinación de la porosidad total, % PT.

Para calcular la magnitud de este parámetro, al igual que la variación constante de la densidad global que experimenta la diatomita consolidada natural, al ser expuesta a variadas temperaturas de tratamiento durante dos horas, se aplicó la Norma ASTM C-303-82 (ITINTEC 331.016-77) y se consideró también la Norma Española UNE 61.034-75 (Figuras 16 y 17), a manera de comprobación.



(a)



(b)

Figura 16: Bloques de Diatomeas para determinación de densidad global (ASTM C - 303-82).

(a) En Verde; (b) tratados térmicamente.

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.



Figura 17: Disposición del equipo durante la Fase de Saturación de la probeta, considerando la Norma UNE 61.034-75.

Fuente:

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

Se evidencia en la Figura 18, la variación promedio de la densidad global o geométrica del material diatomáceo consolidado natural originado de la zona Inca y la tabla 15, se relaciona con esta figura. En relación a la magnitud de este parámetro se registra en promedio un valor de 0.54 g/cm³ para la muestra seca a 110°C; cuyo comportamiento es hacia la disminución al aumentar la temperatura hasta los 600°C en donde registra el mínimo valor de 0.49 g/cm³ y luego empieza a aumentar.

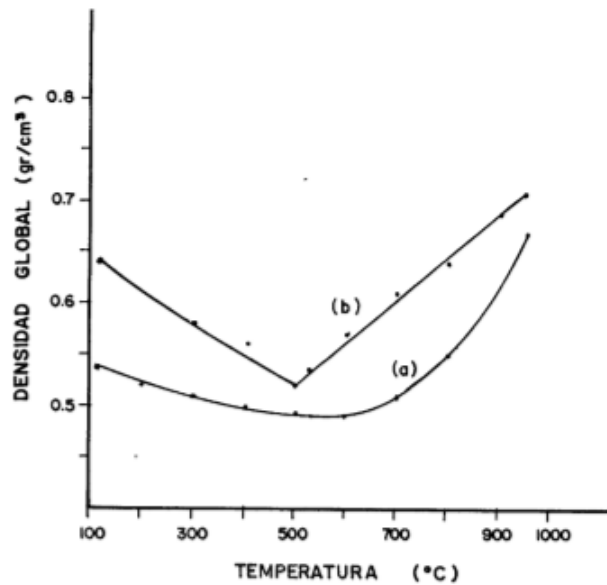


Figura 18: Variación Promedio de la Densidad Global de la Tierra de Diatomeas del Desierto de Sechura, con la temperatura de tratamiento. (a) Zona Inca (b) Área I.

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

	110	200	300	400	500	600	700	800	900	950
	0.47	0.59	0.56	0.49	0.54	0.53	0.59	0.49	0.77	0.79
	0.51	0.51	0.48	0.49	0.47	0.5	0.46	0.69	0.86	0.65
	0.55	0.58	0.52	0.52	0.53	0.75	0.79	0.60	0.75	0.60
	0.61	0.53	0.48	0.49	0.53	0.46	0.51	0.48	0.57	0.70
	0.53	0.52	0.56	0.47	0.51	0.50	0.53	0.65	0.59	0.68
	0.61	0.53	0.50	0.51	0.47	0.45	0.51	0.52	0.58	0.65
	0.53	0.46	0.47	0.5	0.52	0.48	0.44	0.55	0.53	0.60
	0.55	0.49	0.53	0.48	0.47	0.53	0.49	0.57	0.65	0.67
	0.53	0.46	0.52	0.49	0.45	0.41	0.50	0.55	0.61	0.71
	0.48	0.54	0.47	0.53	0.44	0.42	0.52	0.53	0.60	0.72
	0.51	0.45	0.52	0.48	0.45	0.47	0.50	0.52	0.59	0.68
	0.61	0.53	0.51	0.49	0.51	0.47	0.50	0.49	0.51	0.67
	0.56	0.52	0.48	0.45	0.48	0.46	0.51	0.66	0.67	0.72
	0.55	0.52	0.55	0.52	0.52	0.49	0.51	0.54	0.71	0.62
	0.54	0.53	0.5	0.52	0.48	0.53	0.40	0.53	0.75	0.7
	0.50	0.53	0.46	0.49	0.52	0.50	0.46	0.53	0.55	0.6
	0.54	0.52	0.51	0.52	0.51	0.47	0.48	0.54	0.57	0.63
	0.55	0.50	0.47	0.52	0.50	0.50	0.51	0.54	0.53	0.7
	0.52	0.48	0.52	0.52	0.52	0.46	0.51	0.54	0.5	0.6
	0.46	0.57	0.55	0.47	0.48	0.42	0.50	0.56	0.55	0.62
PROM:	0.54	0.52	0.51	0.5	0.49	0.49	0.51	0.55	0.62	0.67
σ_2:	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	0.07	0.07	0.06	0.10	0.05

Tabla 13: Densidad Global (g/cm³) de la Diatomita "Inca" a diferentes temperaturas de tratamiento (°C).
Fuente: elaboración propia.

Zona de Muestreo	110°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C	900°C	950°C
I	0.61	0.61	0.60	0.52	0.54	0.56	0.60	0.64	0.64	0.64
	0.68	0.67	0.57	0.56	0.52	0.56	0.63	0.59	0.70	0.70
	0.68	0.60	0.59	0.53	0.54	0.58	0.61	0.64	0.70	0.70
	0.62	0.57	0.56	0.58	0.54	0.55	0.60	0.65	0.72	0.72
	0.69	0.60	0.57	0.6	0.53	0.57	0.60	0.64	0.69	0.69
	0.62	0.60	0.56	0.52	0.50	0.58	0.62	0.63	0.69	0.69
	0.60	0.63	0.60	0.53	0.49	0.56	0.60	0.65	0.72	0.72
	0.69	0.60	0.62	0.56	0.49	0.56	0.63	0.64	0.68	0.68
II	0.71	0.60	0.57	0.54	0.53	0.57	0.60	0.60	0.60	0.73
	0.63	0.65	0.6	0.57	0.53	0.56	0.61	0.61	0.63	0.67
	0.63	0.60	0.57	0.59	0.53	0.56	0.62	0.62	0.64	0.68
	0.64	0.62	0.56	0.55	0.53	0.59	0.59	0.59	0.65	0.70
	0.60	0.62	0.59	0.57	0.47	0.60	0.60	0.60	0.67	0.70
	0.60	0.60	0.60	0.56	0.53	0.61	0.61	0.61	0.66	0.65
	0.65	0.58	0.52	0.60	0.56	0.63	0.63	0.63	0.65	0.70
	0.65	0.58	0.54	0.57	0.53	0.60	0.60	0.60	0.67	0.65
PROM:	0.64	0.61	0.58	0.56	0.52	0.57	0.61	0.64	0.69	0.71
σ_2 :	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03

Tabla 14:Densidad Global (g/cm³) de la Diatomita del Área I con la temperatura de tratamiento.
Fuente: elaboración propia.

Se muestra en la figura 18, en relación con las tablas 13 y 14., la evidencia de la variación promedio experimentada por la densidad global de la diatomita consolidada natural proveniente del Área I. Por otro lado, esta alcanza el valor de 0.64 g/cm³ para la muestra seca a 110°C y disminuyendo hasta 0.52 g/cm³ a la temperatura de 500°C a partir de lo cual empieza a crecer.

En el mismo sentido, al aplicar el tratamiento térmico las temperaturas similares o superiores a 800°C, las caras de algunas probetas evidencian grietas, por efecto de la contracción que éstas experimentan.

Porosidad Total (% PT)

Se determinó mediante el cálculo de la densidad real y global, Tablas 13 y 14., considerando que:

$$\% P_T = \left(1 - \frac{D_g}{D_a}\right) 100$$

Según Norma UNE 61.035-75 (ITINTEC 331.020-78). Estos valores se hallan en la tabla 15.

Zona	110	200	300	400	500	600	700	800	900	950
Inca	77.1	78	78.5	79.0	79.2	79.5	78.9	77.7	75.1	73.3
Área I	70.3	71.7	73.2	74.2	76.1	73.8	72.1	71.3	71.5	72.8

Tabla 15: Variación promedio de la porosidad total (% PT) de la Diatomita del desierto de Sechura con la temperatura de tratamiento (°C)

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades Fundamentales Térmicas

Para efectos de la investigación, se hizo necesario la determinación de la conductividad térmica de la tierra de diatomeas Sechuranas, y así obtener una idea del rango de variación de este parámetro con la temperatura, lo cual permite fundamentar en mayor medida sus aplicaciones térmicas.

Medida de la Conductividad Térmica (K)

Preparación de la Muestra

La muestra analizada refiere a una tierra de diatomeas de Bayóvar (de la zona Inca y del Área I) consolidada en el propio yacimiento y sinterizada (deshidratada y estabilizada térmicamente) a la temperatura de 850°C. Se corta la muestra de tal forma se pueda obtener dos bloques geoméricamente similares. Las dimensiones de las muestras varían, con una longitud mínima de 150 mm (en este caso las medidas de los bloques fueron de altura: 75 mm; anchura: 75 mm y largo: 150 mm).

Método de Medida

El cálculo de la conductividad térmica, K, del material se efectúa considerando el método del hilo caliente, ideado por SCHLEIER MACHER en 1888, desarrollándose en 1945, fecha en que VAN DER HELD y VAN DRUMEN, analizaron una técnica que permitía eliminar las fuentes de error y con la que se generaba buenos resultados en la evaluación de K.

La conductividad térmica del material, K, puede calcularse según la siguiente expresión experimental:

donde:

$$k = q \ln(t_2 - t_1) / 4 \pi (T_2 - T_1)$$

K, es la conductividad térmica del material

q, es el flujo de calor por unidad de longitud del hilo de calentamiento (KCal/m.h)

T₁ y T₂, son las temperaturas obtenidas para los tiempos t₁ y t₂ respectivamente.

t₁ y t₂, son los tiempos de medida de la temperatura.

El valor del flujo de calor, q, es el siguiente:

$$q = 0.86 RI^2 = 0.86 V I / L$$

donde:

R, es la resistencia eléctrica por unidad de longitud (ohmio/m) del hilo de calentamiento.

I, es el flujo de corriente eléctrica en el hilo de calentamiento (Amperios).

V, es el voltaje aplicado (Voltios).

L, es la longitud del hilo de calentamiento en el cual se aplica el voltaje, V.

El equipo utilizado es el SHO THERM QTM-F1 de la Casa SHOWA DENKO.

Resultados Experimentales

Los valores de K generados a variadas temperaturas de las muestras de diatomeas consolidada natural, se muestran en la Tabla 16.

Tempr. (°C)	K) Kcal/h.m.°C)
24	0.095
219	0.102
386	0.133
603	0.158
818	0.189
824	0.196

Tabla 16:Resultados de Conductividad Térmica
Fuente: Elaboración propia.

La correlación establecida entre K y T, se expone mediante la ecuación:

$$K = 0.0833 + 1.30 \times 10^{-4} T \text{ (°C) (KCal/h.m.°C)}$$

$$r \text{ (coeficiente de correlación)} = 0.98$$

Comparación de los resultados de la Conductividad Térmica de las Diatomeas de Bayóvar con otros aislantes térmicos comerciales.

A continuación, se intenta realizar un estudio comparativo de los valores de K, de variados materiales aislantes en relación de la temperatura. Además, cabe precisar que a parte de la diatomita de Bayóvar, se han analizado:

- El hormigón aislante, para el cual

$$K = 0.10 + 0.001035 T (^{\circ}\text{C}) \text{ KCal/h.m.}^{\circ}\text{C}$$

- La fibra cerámica de alta temperatura ($T = 1400^{\circ}\text{C}$)

$$T < 300^{\circ}\text{C} \quad K = 0.07 + 1 \times 10^{-4} T (^{\circ}\text{C}) \text{ KCal/h.m.}^{\circ}\text{C}$$

$$T > 300^{\circ}\text{C} \quad K = 0.02 + 4 \times 10^{-4} T (^{\circ}\text{C}) \text{ KCal/h.m.}^{\circ}\text{C}$$

- Ladrillo "SKAMOL SM-65", fabricado en base de tierra de diatomeas y muy recomendado para aislar los cátodos de las células de producción de aluminio.

$$K = 0.1150 + 1 \times 10^{-4} T (^{\circ}\text{C}) \text{ KCal/h.m.}^{\circ}\text{C}$$

En la Tabla 17., se muestra un estudio comparativo de K, a variadas temperaturas.

Temp.($^{\circ}\text{C}$)	Hormigón aislante	Fibra cerámica	SM-65	Diatomita de Bayóvar
100	0.200	0.080	0.13	0.10
200	0.307	0.090	0.14	0.11
400	0.514	0.14	0.15	0.135
600	0.721	0.22	0.17	0.161
800	1.010	0.301	0.20	0.19

Tabla 17: Comparación de la Conductividad Térmica de la Diatomita Sechurana con la de otros aislantes térmicos, a diferentes temperaturas

Fuente: elaboración propia.

Evaluación de Propiedades Simuladas: cálculo de la resistencia a la compresión en frío.

El cálculo se realizó siguiendo, considerando la Norma UNE 61.037-75 (ITINTEC 331.042-82), en empleando un equipo SOILTEST U-160.

A continuación, se presenta una descripción de los pasos o etapas para la realización de este ensayo.

A. Preparación de la Muestra

- Se ajustan probetas de forma paralelepípeda o cilíndrica, tomando en cuenta que las dimensiones de altura tendrán que ser mayor o similar a dos veces el ancho (diámetro) de la base.
- Se seca el material a 110°C hasta peso constante
- Para las muestras tratadas térmicamente, se conservará la temperatura T durante dos horas y se enfriarán paulatinamente, para prevenir el choque térmico.

B. Método de Medida

El aparato U-160 SOILTEST para calcular la carga P, emplea un doble anillo dinamométrico, con un factor de calibre K, que tiene un cuadrante con graduaciones hasta 10^{-4} de pulgada, que se transforman en cargas por medio de la expresión siguiente:

En donde:

Carga axial

$$P = K \cdot x / 9.81 \text{ (kg)}$$

En donde:

$K = \text{factor de calibre} = 3.75 \times 10^4 \text{ Newton/pulgada}$

$x = \text{lectura del cuadrante del anillo de carga medida en } 10^{-4} \text{ pulgadas (plg).}$

Las deformaciones se calculan en otro cuadrante con graduaciones de hasta 10^{-3} de pulgada, transformándose en porcentajes de deformación que experimenta el material (E) por medio de la siguiente expresión:

$$E = Y/h \times 2.54 \times 100 \text{ (\%)}$$

En donde:

$Y = \text{lectura del cuadrante vertical, medido en } 10^{-3} \text{ plg.}$

$h = \text{altura de la probeta (cm).}$

Para cada lectura del dial vertical, hay que modificar el área por medio de la expresión:

$$A = \text{área corregida} = A_0 / (1 - E/100)$$

En donde:

A_0 = el área inicial (cm²).

E = deformación de la probeta en (%).

La resistencia a la compresión en frío (q_c) se calcula por la expresión siguiente:

$$q_c \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = P/A$$

El procedimiento conlleva los siguientes pasos de manera sincronizada (ver Fig. xx):

- 1) Colocar la probeta preparada en el equipo, con su eje vertical cercano al centro de la placa inferior como sea posible.
- 2) Se ajusta el cuadrante de los anillos dinamométricos en la lectura cero, sin emplearle carga alguna.
- 3) Se monta el medidor de deformaciones, de forma que el brazo horizontal accesorio apoye en la parte inferior de la placa superior cuando el vástago del cuadrante esté en su posición más extendida
- 4) Se colocan los discos de fibrocelulosa a la probeta, uno a cada extremo. El empleo de los discos suprime la necesidad de modificar en cada ensayo la lectura de la probeta. De otra parte, se prevé una forma de mantener la mayor lectura del cuadrante una vez que se quita la carga.
- 5) Se pone el cuadrante del medidor de deformaciones en cero, con los discos, sin emplear carga.
- 6) Se selecciona una velocidad de deformación. Seguidamente, se comprimen hasta que ocurra la rotura. Se quita la carga y se retira la probeta.

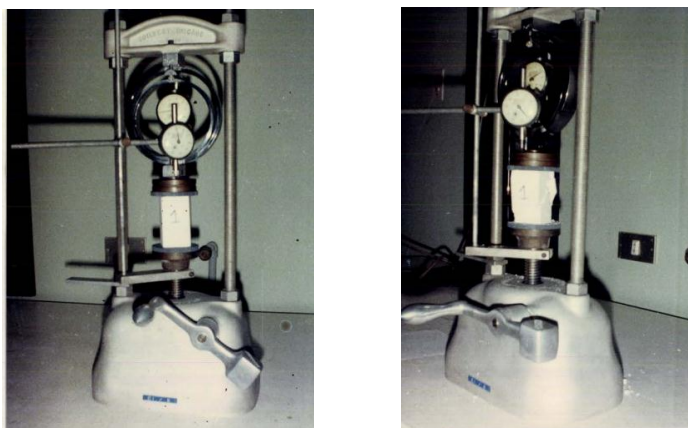


Figura 19: Disposición de las probetas, antes y después del ensayo de Resistencia a la Compresión en frío. Resultados Experimentales

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

Como ejemplo, en la Tabla 18., se anotan los datos generados para un ensayo de resistencia a la compresión en frío, de diatomita Inca. Las Tablas 19 y 20 que se relacionan con la Fig. 20., comprenden los resultados experimentales de q obtenidos a variadas temperaturas, para la diatomita de la zona Inca y del Área I respectivamente. En ellas figuran, para cada temperatura de tratamiento, los valores del esfuerzo máximo a la compresión (q_c máx.), ángulo de falla principal (Θ_f) calculado en sentido antihorario y a partir de un plano perpendicular a la dirección de la carga ejecutada, y el porcentaje de deformación (E) correspondiente al q_c máx.

Sobre la magnitud de los resultados obtenidos, es interesante comentar lo siguiente:

- La materia prima analizada, en promedio, evidencia una resistencia a la compresión en frío de 10 kg/cm^2 , para la diatomita del Área I y de 17 kg/cm^2 para la diatomita Inca, misma que aumenta conforme lo hace la temperatura de tratamiento hasta los 600°C en la que toma el valor máximo, y a temperaturas superiores empieza a decrecer.
- De la observación directa, se tiene que el valor de q^c está influenciado por la presencia de impurezas, como son: sales sódico-potásicas; localizadas a lo largo de finísimas vetillas y que, al ser sometidos a temperaturas superiores a los 900°C , reblandecen mucho, ocasionando grietas y fisuras que modifican negativamente en el ensayo, lo cual hace que fallen en mayor medida las probetas.

Muestra Descripción:

Dial Vertical ($\times 10^{-3}$ ")	Deformación E (%)	Área corregida, A (cm^2)	Anillo de Carga ($\times 10^{-4}$ ")	Carga Axial P (Kg)	Resistencia A Compresión q_c , (Kg/cm^2)	Observación
0	0.00	11.34	0	0	0	
3	0.10	11.35	120	45.87	4.04	
4	0.13	11.35	155	59.25	5.22	
5	0.17	11.36	186	71.10	6.26	
6	0.20	11.36	218	83.33	7.33	
7	0.23	11.37	242	92.51	8.14	≤ 63
8	0.27	11.37	270	103.21	9.08	
9	0.30	11.37	305	116.59	10.25	
10	0.33	11.38	337	128.82	11.32	
11	0.37	11.38	363	138.76	12.19	q_c máx.
12	0.40	11.39	386	147.55	12.96	
13	0.43	11.39	416	159.02	13.96	
14	0.47	11.39	448	171.25	15.03	
15	0.50	11.40	469	179.28	15.73	
16	0.54	11.40	500	191.13	16.73	
17	0.57	11.41	516	197.25	17.3	
18	0.60	11.41	530	202.60	17.76	
19	0.64	11.41	535	204.51	17.92	
20	0.67	11.42	532	203.36	17.81	
22	0.74	11.42	528	201.83	17.67	

Tabla 18:Ensayo de Compresión en Frío.

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

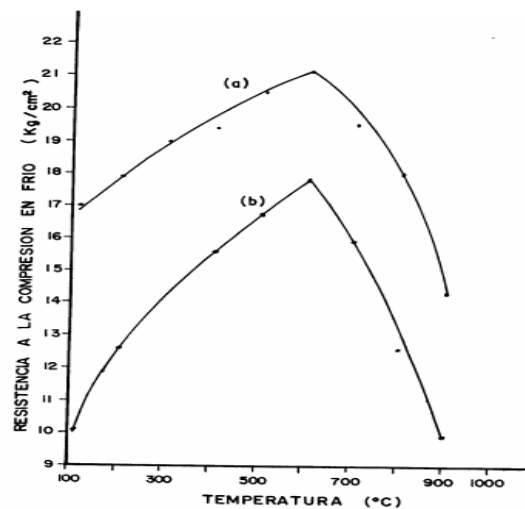


Figura 20:Variación promedio de la resistencia a la compresión en frío de la tierra de diatomeas del Desierto de Sechura con la temperatura de cocción. (a) Zona Inca.

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

(b) Área I

Tabla 19. Variación de la resistencia a la compresión en frío de la Diatomita "Inca" a diferentes temperaturas de cocción

q_c esfuerzo máximo a la compresión en frío (kg/cm_2)

E Deformación que experimenta la probeta durante el ensayo

Θ_r Ángulo que sigue la falla principal, calculado en sentido antihorario a partir del plano perpendicular a la carga aplicada.

Zona de Muestreo	110°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C	900°C
q _c	17.9	14.3	22.5	18.9	15.8	21.3	18.8	15.4	12.7
E (%)	0.64	0.37	0.36	0.4	0.22	1.16	1.25	1.5	3.31
Ø _r	63	90	115	140	120	90	135	140	35
q _c	15.4	20.0	20.2	21.7	17	21	14.7	18.7	14.5
E (%)	2.66	0.49	0.98	0.67	0.69	1.01	0.59	1.75	1.36
Ø _r	58	45	30	150	60	60	35.0	30	90
q _c	16.8	16.2	18.8	19.1	26.3	16.2	19.0	18.8	16.1
E (%)	0.22	0.45	0.47	0.67	0.53	1.48	1.83	1.51	2.6
Ø _r	90	60	36	90	60	60	45	15	30
q _c	18.7	17.8	17.5	18.5	18.2	23.2	20.2	20.0	15.3
E (%)	0.97	0.52	0.76	0.32	0.65	0.97	1.05	1.02	2.15
Ø _r	135	155	30	18	30	15	145	90	165
q _c	16.9	18.2	18.8	20.5	22.4	24.2	21.7	19.7	14.3
E (%)	0.80	0.8	0.65	0.41	0.43	0.87	0.98	0.98	3.17
Ø _r	45	60	25	160	45	90	20	60	30
q _c	17.1	19.8	16.5	20.0	21.5	22.2	19.8	17.6	13.3
E (%)	0.76	0.6	0.56	0.33	0.32	0.71	1.22	1.35	2.86
Ø _r	105	150	160	90	15	60	140	45	155

Tabla 19: Variación de la resistencia a la compresión en frío de la Diatomita "Área I" a diferentes temperaturas de cocción (°C).
Fuente: Elaboración propia.

Zona de Muestreo	110°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C	900°C
q _c	12.7	13.7	12.5	15.9	15.1	19.4	14.7	10.5	12.7
E (%=	0.18	0.31	0.90	1.32	0.51	0.67	0.97	1.86	1.02
⊙ _r	30	135	75	127	145	38	45	117	47
q _c	10.2	11.4	15.1	16.7	18.9	18.7	16.2	14.7	8.1
E (%=	0.22	0.30	0.87	1.52	0.63	0.69	1.10	1.34	1.25
⊙ _r	90	105	60	148	75	30	90.0	75	90
q _c	8.7	10.3	13.6	15.5	17.2	18.8	15.6	13.2	13.2
E (%=	0.15	0.33	0.77	0.97	0.78	0.80	0.98	1.02	0.75
⊙ _r	38	45	40	90	135	135	55	30	32
q _c	9.2	12.1	17.5	15.1	14.8	17.1	14.9	9.9	8.2
E (%)	0.17	0.11	0.79	0.70	0.87	0.78	1.21	1.17	0.97
⊙ _r	48	15	127	53	127	90	15	115	90
q _c	11.2	15.1	9.7	17.8	16.9	17.8	15.6	10.7	12.4
E (%=	0.11	0.87	0.62	1.37	0.92	0.82	1.01	1.32	0.72
⊙ _r	135	135	135	35	35	30	115	90	50
q _c	10.1	12.6	13.3	15.6	16.7	17.8	15.9	12.6	9.9
σ _n	1.5	1.44	2.1	2.15	1.62	1.29	1.46	1.96	2.2

Tabla 20:(Continuación)
Fuente: Elaboración propia.

Ensayos de Prensado-Sinterizado de Diatomita Pulverulenta

Seguidamente, luego de haber realizado ensayos con diatomita consolidada natural y evidenciado que, a temperaturas similares o mayores a 850°C , algunos bloques mostraban un mayor contenido de impurezas y por la contracción evidenciada, se resquebrajaban mucho, como se muestra en la figura 21. En ese sentido, se consideró la realización de ensayos con diatomeas prensadas y sinterizadas, con la finalidad de evaluar algunas propiedades de interés que permitió hacer comparaciones con las del material consolidado natural.



Figura 21: Ensayos de Prensado-Sinterizado de Diatomita Pulverulenta.

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

La dinámica operativa en la generación de probetas consolidadas y sinterizadas, fue la siguiente:



Figura: Proceso de consolidación y sinterización de probetas.

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

- El sinterizado se ejecutó durante 2 horas a la temperatura T, que estará sujeto al material que se requiere obtener, por lo que fue necesario un calentamiento y enfriamiento paulatino para prevenir el choque térmico.
- El secado a 110°C, hasta peso constante.

Se pretende mostrar los resultados generados y las condiciones de trabajo, bajo las cuales se ejecutó. La finalidad de generar variadas probetas de diatomeas consolidadas y estabilizadas térmicamente, usando diatomita INCA.

En la Tabla 21., se muestran las características más representativas de un primer grupo de ensayos. Se evidenció que las probetas de los ensayos N° 3, 5, 9, 11, 12 y 13, mostraban pequeñas fisuras que se les denomina efecto de hojaldramiento-laminación, característico en aquellos polvos, lo cual durante su compactación generó la entrada de aire, o bien que la distribución en profundidad de la carga de presión aplicada fuera muy irregular.

N° Ensayo	Preparación Previa		Presión de Consolidación (Kg/cm ²)	Densidad Global en: Dg (Kg/cm ³)	Temperatura de Sinterizado (°C)	Densidad después del sinterizado (Kg/cm ³)	Ensayo de compresión en frío		Porosidad después de Sinterizado (%)
	Tamiza ASTM	Mezclado con:					q _c (Kg/cm ²)	E (%)	
1	+20	40 % de agua	350	0.72	En verde	/	12.46	0.134	69
2	+40	3% aceite SAE 30	150	0.88	900	0.90	32.10	0.101	64
3	+40	35% de agua	190	0.76	850	0.75	24.50	0.360	70
4	+40	40% agua	140	0.84	850	0.78	17.30	0.380	68
5	+20	40% agua	260	0.72	850	0.70	28.00	0.760	72
6	+40	40% agua	150	0.86	900	0.9	18.50	0.250	64
7	+60	40% agua	150	0.93	900	0.84	20.20	0.152	66
8	+20	40% agua	380	0.72	900	0.70	20.70	0.170	72
9	+40	40% agua	110	0.84	850	0.77	22.80	0.270	69
10	+10	40% agua	330	0.79	850	0.77	18.70	0.474	69
11	sin tamizar	40% agua	360	0.81	900	0.78	19.50	0.425	65
12	+10	40% agua	360	0.87	950	0.88	40.10	0.897	68
13	sin tamizar	40% agua	360	0.8	950	0.81	27.00	0.720	68

Tabla 21: Resultados de ensayos de consolidación- sinterizado.

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

En la Tabla 22, se muestran los resultados y las formas bajo los cuales se ejecutó con el objetivo de generar variadas probetas de diatomeas consolidadas, secadas a 120°C y sinterizadas a 800°C. Se considera una muestra de diatomeas consolidada natural de geometría prácticamente cúbica. Se probó que las probetas que pertenecen a los ensayos N° 3 y 4, presentan el efecto de hojaldramiento-laminación.

En otro sentido, en los ensayos de consolidación con un 40% de agua, se requiere cargas de prensado elevadas, permitiendo que la distribución de carga sea uniforme, se optó por efectuar ensayos diferenciando el contenido de humedad. Los resultados se muestran en la Tabla 23, en donde el secado se realizó al ambiente y seguidamente en estufa; luego del cual se pudo mostrar un pequeño agrietamiento en el área céntrica de algunas de ellas, que es donde se acumula la mayor cantidad de humedad durante el prensado, esto se debe a la evaporación del agua de la superficie, que se da a mayor velocidad de la que está siendo difundida desde el interior. Después del sinterizado a 950°C, durante dos horas, éstas tenían un ligero agrietamiento en la superficie, esto originadas por la contracción que experimentan.

Para hacer notar que en el caso únicamente se realizó ensayos de consolidación en vía húmeda: usando agua como aglutinante; no obstante, industrialmente no es considerado ello por el gran consumo energético y dificultades de agrietamiento en el lapso del secado. Sin embargo, existen otros aglutinantes usados para la consolidación de las diatomeas, por ejemplo:

- Vía Semi-seca

Con Silicato de Sodio:6%

Con Arcilla + H₂O: 6%

- Con resinas orgánicas (fenólicas o furánicas).

Tipo de material	Preparación Previa	Características de la comparación	D _g después de secado (120°C) + Sinterizado (800°C)	Porosidad Total después de Secado + Sinterizado (800°C)
Tierra de D. consolidada natural (N° 1)	/	/	0.48 g/cm ³	80%
Tierra de D. Polvo (N° 2)	Ninguna	100 kg/cm ²	0.72 g/cm ³	70%
Tierra de D. Polvo (N° 3)	Ninguna	100 kg/cm ²	0.73 g/cm ⁴	69%
Tierra de D. Polvo (N° 4)	Ninguna	160 kg/cm ² Presencia de lubrif	0.75 g/cm ⁵	68%
Tierra de D. Polvo (N° 5)	Ninguna	160 kg/cm ² Presencia de lubrif	0.80 g/cm ⁶	66%
Tierra de D. Polvo (N° 6)	Mezcla con un 2.60% de aceite SAE-30	160 kg/cm ² Presencia de lubrif	0.93 g/cm ⁷	61%
Tierra de D. Polvo (N° 7)	Mezcla con un 2.60% de aceite SAE-30	160 kg/cm ² Presencia de lubrif	0.97 g/cm ⁸	59%
Tierra de D. Polvo (N° 8)	Ninguna	160 kg/cm ² Presencia de lubrif	0.77 g/cm ⁹	67%

Tabla 22: Resultados de Ensayos de Prensado-Sinterizado.

Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

Preparacion previa		Carga de prensado (kg/cm ₂)	Parametro del material en verde secado a 100 °C			Parametro del material sinterizado a 950°C			
tamiz ASTM	% agua /en peso)		Densidad Global en :Dg (Kg/cm3)	R. Compresion en piso.		Densidad Global en :Dg (Kg/cm3)	R. Compresion en piso.		%P _t
				q _c (Kg/cm2)	E (%)		q _c (Kg/cm2)	E (%)	
60	49	95	0.66	2.0	0.017	0.80	22.5	0.205	68
60	90	95	0.72	3.0	0.025	0.92	55.7	0.220	63
40	77	95	0.78	3.2	0.030	0.86	23.6	0.318	65
20	107	62	0.64	8.0	0.130	0.85	32.8	0.275	66
20	118	62	0.58	4.0	0.085	0.87	55.2	0.227	65
20	110	95	0.68	7.0	0.087	0.88	30	0.390	65
20	55	62	0.69	5.0	0.062	0.94	67	0.410	63
20	66	62	0.72	6.2	0.077	0.98	48	0.340	61
20	109	62	0.62	8.5	0.089	0.86	85	0.380	66
4	102	62	0.6	9.5	0.132	0.82	62	0.400	67
4	97	62	0.62	9.6	0.147	0.83	63	0.420	67
4	94	95	0.66	5.2	0.090	0.88	63.8	0.247	65
4	85	95	0.66	5.0	0.080	0.82	63.8	0.235	67
4	100	95	0.68	4.7	0.083	0.87	62.3	0.252	65
4	95	125	0.67	9.0	0.075	0.83	52.5	0.272	67
4	69	125	0.75	8.0	0.052	0.93	78.5	0.356	63
4	107	125	0.61	5.2	0.040	0.85	80.1	0.390	66
4	103	125	0.63	5.0	0.042	0.84	78.6	0.370	66
4	105	155	0.61	7.0	0.053	0.82	60.2	0.278	67
4	105	155	0.61	7.2	0.051	0.80	54.4	0.330	68

Tabla 23:Resultados de ensayos de prensado-sinterizado.

Fuente: Fuente: Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes.

Los resultados de los ensayos de prensado-sinterizado evidencian que las probetas generadas, a variadas condiciones, no presentan, en su mayoría, dificultades en cuanto al agrietamiento desmedido y contienen mejores propiedades mecánicas, aun habiéndolas tratado a temperaturas con rangos de 850 a 950°C, lo que no ocurría con el material consolidado natural.

Por otro lado, es importante resaltar lo relevante del secado y del prensado, pues ambos pueden causar dificultades de agrietamiento, de resquebrajaduras, etc., que hacen que el producto generado tenga una disminución en sus propiedades mecánicas ya que, evidentemente, afecta directa o indirectamente a la sección eficaz de trabajo.

Evidencia del estado actual de las Diatomitas

Luego de haber presentado todo el tratamiento realizado por el investigador Viera (1987), se procedió a realizar un muestreo para ver si la roca de minerales, en este caso la diatomita, después de más de 30 años hubiera conservado sus propiedades. En virtud de ello, se realizó un muestreo donde se consideró lo siguiente:

El área considerada fue el Área I, explorada en su momento por Viera (1987); en donde se ha extraído el fosfato, superficial, quedando visible la capa de diatomita. Por lo cual, tenemos como coordenadas 1'433,750 N- 178,060 E y una profundidad de - 5.00 m de la superficie (figuras 22 y 23).



Figura 22: Muestra un bloque de diatomita del Área I en la actualidad.
Fuente: Tomada en con apoyo de COMACSA. (2019).

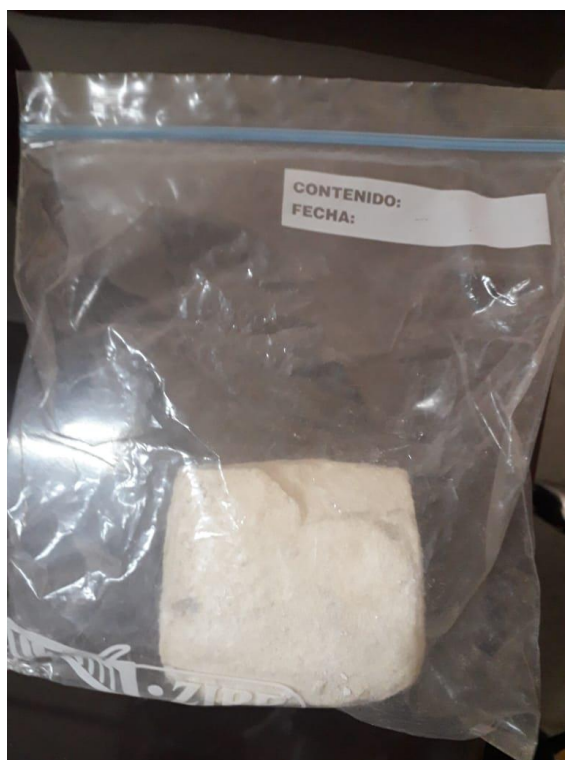


Figura 23: Muestra un bloque de diatomita del Área I en la actualidad.
Fuente: Tomada en con apoyo de COMACSA. (2019).

Determinación Experimental de Propiedades Fundamentales Estructurales

Análisis Químico

Con esta prueba se pretende verificar las concentraciones de Sílice (SiO_2); lo ideal es que estas sean bajas. Por espectrofotometría de absorción atómica, se determinaron los siguientes elementos: Hierro, Magnesio, Aluminio, Sodio, Calcio, Potasio y Silicio. El análisis de cloruros y sulfatos se efectúa en muestras separadas, mediante métodos químicos tradicionales. Los cloruros se determinan volumétricamente con nitrato de plata y los sulfatos gravimétricamente precipitándolos con cloruro de Bario. Todo esto, en la empresa de laboratorios de COMACSA, específicamente en sus laboratorios LAB-PR-007, 010, 018, 019, 023 y 028 (Tablas 24 y 25).

Parámetro	Especificación	Método
Contenido de SiO ₂	81.0 – 90.0 %	LAB-PR-007
Contenido de Al ₂ O ₃	2.0 – 5.5 %	LAB-PR-007
Contenido de Fe ₂ O ₃	máx. 3.0 %	LAB-PR-007
Contenido de CaO	máx. 1.25 %	LAB-PR-007
Contenido de MgO	máx. 1.0 %	LAB-PR-007
Partículas > 45 µm (residuo tamiz ASTM No. 325)	máx. 0.15 %	LAB-PR-018
Blancura (filtro verde)	83.0 – 88.0 %	LAB-PR-019
Índice de amarilleo	7.0 – 12.0 %	LAB-PR-019
Absorción de aceite	70.0 – 92.0 %	LAB-PR-028
Fineza Hegman	4 – 5 ¼	LAB-PR-010
Humedad	máx. 7.0 %	LAB-PR-023

Tabla 24: Especificaciones de los valores para Análisis Químicos de Diatomita área I.
Fuente: Análisis de COMACSA. (2019).

Parámetro	%
SiO ₂	88.17
TiO ₂	0.13
Al ₂ O ₃	2.56
Fe ₂ O ₃	0.93
Cr ₂ O ₃	0.00
CaO	0.41
MgO	0.72
MnO	0.01
SO ₃	0.00
P ₂ O ₅	0.00
Na ₂ O	0.00
K ₂ O	0.37
LoI	6.57

Tabla 25: Análisis Químicos de Diatomita área I.
Fuente: Análisis de COMACSA. (2019).

No se probó ninguna forma de concentración, porque se deseaba obtener muestras representativas en cada caso. Además, en el laboratorio de química de la Universidad de Piura se viene desarrollando un estudio tendiente a evaluar cualitativamente las diatomeas de Bayóvar, así como los métodos de tratamiento y purificación; razón por lo

que no se consideró conveniente la ejecución de análisis químicos adicionales en el estudio.

Por otro lado, a través de la evaluación en laboratorio de la muestra virgen, se obtuvieron algunos valores preliminares del mineral (tabla 26).

	Método	Valor	Rango	Unidades
Residuo en Tamiz Nº 325 (45 µm)	LAB-PR-018	0.14	0.02 a 0.70	%
Blancura (Photovolt - FV)	LAB-PR-019	67.3	66.0 a 73.0	%
Índice de Amarilleo	LAB-PR-019	22.97	18.77 a 25.50	%
Densidad aparente	LAB-PR-011	263	258 a 290	g/l
Gravedad específica	LAB-PR-009	2.151	2.14 a 2.16	/
Absorción de aceite	LAB-PR-028	50.6	46.0 a 58.0	%
Superficie específica	LAB-PR-006	21.627	21.000 a 23.000	cm ² /g
pH (suspensión acuosa al 10%)	LAB-PR-012	8.5	8.30 a 9.7	/
Humedad	LAB-PR-023	10.52	12.0 máx.	%

Tabla 26: Análisis de propiedades físicas de Diatomita área I.
Fuente: Análisis de COMACSA. (2019).

Se puede ver que el color característico es blanco, con un alto porcentaje dentro de los parámetros establecidos, con un 67.3% cercano al rango máximo de 73.0%. Asimismo, acompañado por un índice de amarilleo de 22.97%, cercano también al rango mayor de 25.50%. Su densidad aparente y gravedad específica están dentro del rango y cuenta con un pH bastante ácido de 8.5.

En líneas generales, se permite ver que la heterogeneidad de la diatomita en el desierto de Sechura es grande y aún se conserva en el mismo lugar de muestreo, luego de más de 30 años. Debido a que la nueva muestra tiene una mayor cantidad de sílice (SiO₂), es importante tener claro la presencia de altas concentraciones de esta, ya que no es una señal suficiente de una materia prima adecuada. Entonces, la pureza química es una cualidad que viene a ser más importante únicamente después de que hayan sido definidas otras indicaciones apropiadas, que reflejen el funcionamiento del producto en un específico o un grupo de aplicaciones parecidas.

No obstante, gracias a limitantes en las pruebas de laboratorios, como el no poder exponer el bloque a pruebas de calor específicas para ver cómo se comporta como aislante, se permite solo inferir que existe una cantera de oportunidades con la

diatomita, como así lo demostró Viera (1987), en este sentido, se reafirma con este muestreo que existen variedades dentro del mismo material de diatomita que aún no han sido estudiados.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos a escala de Laboratorio en lo que respecta al estudio de Viera (1987), se deduce que:

- 1.- Existe alta heterogeneidad, buscándose valores promedios de los parámetros, evidenciándose que el yacimiento presenta diatomitas de diferentes características. La composición de este material está compuesta mayormente por sílice amorfa, sin embargo, presenta en pequeña proporción, contaminantes sólidos, tales como cuarzo, cloruro de sodio y sulfato de calcio hidratado.
- 2.- En el caso de la diatomita de la zona Inca, esta es de calidad superior, pues posee menor contenido de impurezas: sólidos (tales como arcilla, cuarzo, sales solubles, yeso), materia orgánica, etc., y mayor contenido de sílice amorfa. Además, presenta un mejor comportamiento con la temperatura de tratamiento en comparación al Área I.
- 3.- A temperaturas superiores a los 950°C, la diatomita estudiada tiende a estabilizarse térmicamente. Presentándose, además, las mejores propiedades mecánicas de las tierras de diatomeas en el intervalo de 500 a 600°C, ya que poseen baja densidad global y elevada porosidad.
- 4.- La diatomita posee, según lo observado y registrado, capacidad de reacción (superficie específica = 22.6 m² /g) en su estado sólido, como en medio acuoso, permitiéndole ser materia prima adecuada para la fabricación de aislantes Sílice-cal y como fuente de sílice para la obtención de silicatos (de sodio y calcio, etc.). Es factible, al mismo tiempo, el aprovechamiento de las propiedades térmicas de las diatomeas consolidadas en los yacimientos del desierto de Sechura, para orientarlas hacia la obtención de materiales aislantes térmicos y refractarios aislantes idóneos para su uso en la industria.

5.- Asimismo, es interesante destacar que en los ensayos de prensado-sinterizado, se han empleado únicamente agua como aglutinante y ningún otro agregado ya que utilizando otros aglutinantes se obtienen, materiales de muy buena calidad para altas temperaturas.

En el caso del nuevo muestreo se deduce:

A pesar de las limitaciones financieras que impidieron realizar los debidos análisis a la muestra extraída, se evidenció de alguna manera que en el desierto de Sechura aún siguen existiendo canteras de gran material del mineral de la diatomita, pero la heterogeneidad es muy alta, por lo que se requiere, estudiar y determinar las concentraciones y características de las distintas variaciones del material para obtener mayor aprovechamiento.

RECOMENDACIONES

1.- Es importante, para realizar trabajos de esta índole, contar con el apoyo de alguna minera o convocarla. Por supuesto, que tenga interés real en el aprovechamiento de este material, debido a los altos costos generados en las pruebas de laboratorio. En el caso del investigador Viera (1987), contó con el apoyo de una universidad de España. En suma, para la actualización del muestreo, donde se pretendía comprobar las propiedades del material luego de 30 años, no se pudieron realizar las pruebas mineralógicas por los costos que genera, de modo que es un factor limitante.

2.- Se debe, igualmente, sistematizar y repetir ensayos en función de las variables dadas, manteniendo constante las velocidades y temperaturas de secado y calcinación-sinterización de las probetas.

3.- Es necesaria la realización de una serie de estudios de las diatomeas de Bayóvar, para indagar en otras posibilidades de industrialización, con el fin de establecer la prioridad de los mismos, debido a que, en la actualidad, es mínima la información que se posee.

4.- Finalmente, se hace vital tener mapeado cada una de las zonas con posibles indicios de diatomita e identificadas sus características.

Es importante considerar en posteriores estudios de esta naturaleza, algunas limitaciones que pueden afectar los resultados y la fase de experimentación:

Económicas y de laboratorios

En el caso de los laboratorios, se ha encontrado que estos son costosos, pues su costo aproximado para esos estudios está por encima de los 10000 soles para dos muestras. Entre las pruebas que se requiere realizar, en cuanto a los mineralógico se tiene a la TG (Pérdida de peso), DTG (Derivada del registro gravimétrico) y la DTA (Diferencia de temperatura entre la tierra de diatomeas y un patrón térmicamente inerte). Y sin considerar los costos por la extracción de la muestra, que comprende la elaboración de una calicata que implica el alquiler de equipos especializados.

Bibliográficas

Existe pocos estudios realizados referente a la temática, el único registrado es el del investigador Jorge viera en el año 1987, y después de allí se desprenden algunos otros, pero con aplicaciones referidas hacia los filtros para la industria cervecera, por ejemplo, se tiene uno titulado “Evaluación del uso de la diatomita como adición mineral en el concreto de alta resistencia hecho por el investigador Leandro para el 2010”.

REFERENCIAS

Calderón, D; Quispe; E y Rebatta, P. (2017). Activación de la diatomita proveniente de Chontacaes para optar por el título profesional de Ingeniero Químico, Universidad Nacional del Callao. Recuperado de: http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/3570/Campos%20Mu%c3%b1oz%2c%20Hernandez%20Hernandez%20y%20Trujillo%20Acu%c3%b1a_titulo%20quimica_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cruz, Guzmán, Rimaycuna, Alfaro y otros. (2016). Tratamiento complementario de agua potable utilizando un filtro de carbón activado impregnado con quitosano producidos a partir de biomasa residual. Recuperado de: <http://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/36/37>

Díaz A. y Ramírez, J. (2009) - Compendio de Rocas y Minerales Industriales en el Perú Lima: INGEMMET, Boletín Serie B: Geología Económica, 19, 415 p.

Dirección general de desarrollo Minero. (2017). Perfil del Mercado de la Diatomita. Secretaria de Economía en su Subsecretaria de minería. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/287797/Perfil_Diatomita_2017.pdf.

Harben, P. (2002). The Industrial Minerals Handboock. Editorial Production María Holmes, Pp.117,118,121,122,127.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación (5ª Ed.). México: McGraw Hill Educación.

Lorenz, W. y Gwosdz, W. (2004) - Manual para la evaluación geológica-técnica de recursos minerales de construcción. Hannover: Schweizerbart'sche, 500 p.

Moreno, A; Iles, A y Rodríguez, J. (2009). Efecto de los tratamientos químicos y térmicos sobre la microestructura y composición química de la tierra diatomácea en su exploración. Revista de la Academia Colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales, ISSN 0370-3908, Vol. 33, N°. 127, 2009, págs. 243-252

Saldarriaga, D. (2009). Fabricación de ladrillos aislantes y revestimientos cerámicos con diatomita de San Juan, Argentina tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial y de Sistemas, Universidad Nacional de Piura. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/366668284/ING-473-PIURA-TESIS-LADRILLOS-REFLECTARIOS-pdf>

Saavedra, J. (1976) - Estudio y evaluación de las diatomitas en el Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Programa Académico de Geología e Ingeniería Geológica Lima, 86 p.

Verdeja, L.; Vásquez, E.; Barranzuela, J. (1993) - Materias primas minerales no metálicas: las diatomitas en el Perú. Minería, N° 220-221, febrero 1993, p. 8-17.

Viera, J. (1987). Evaluación de la diatomita del desierto de Sechura para su uso en la fabricación de aislantes térmicos y refractarios aislantes. Tesis de pregrado no publicado en Ingeniería Industrial. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial. Piura, Perú. Recuperado de: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2466/ING_134.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Anexo 1: Valores de Propiedades física de la Diatomita.



COMACSA
Cía. Minera
AGREGADOS CALCAREOS S.A.

Código : VNT-HT-102
Versión : 04
Vigencia : 01-10-2019
Página : 1 de 1

HOJA TÉCNICA DIATOMITA

DESCRIPCIÓN:

Mineral compuesto por esqueletos fosilizados de plantas acuáticas unicelulares llamadas diatomeas.

Mineral que después de extraído se le somete a una ligera molienda con lo que se logra satisfacer las necesidades de uso como filler, aislante, soporte para plaguicidas y carga en pinturas.

PROPIEDADES FÍSICAS:

	Método	Valor	Rango	Unidades
Residuo en Tamiz N° 325 (45 µm)	LAB-PR-018	0.14	0.02 a 0.70	%
Blancura (Photovolt - FV)	LAB-PR-019	67.3	66.0 a 73.0	%
Índice de Amarilleo	LAB-PR-019	22.97	18.77 a 25.50	%
Densidad aparente	LAB-PR-011	263	258 a 290	g/l
Gravedad específica	LAB-PR-009	2.151	2.14 a 2.16	---
Absorción de aceite	LAB-PR-028	50.60	46.0 a 58.0	%
Superficie específica	LAB-PR-006	21,627	21,000 a 23,000	cm ² /g
pH (suspensión acuosa al 10%)	LAB-PR-012	8.5	8.0 a 9.7	---
Humedad	LAB-PR-023	10.52	12.0 máx.	%

La información contenida en esta hoja técnica se basa en nuestros conocimientos y experiencias actuales. Debido a los numerosos factores que pueden afectar la aplicación de nuestros productos, esta información no garantiza una determinada propiedad ni su adecuación para un propósito específico. Cualquier descripción, información o instrucción tiene carácter referencial y pueden cambiar sin aviso previo, por lo que no constituye vínculo contractual.

Es responsabilidad del usuario asegurarse que el producto cumple con los requisitos para su uso, incluyendo pruebas de aplicación. El usuario también debe asegurarse de tomar todos los cuidados y medidas de seguridad razonables, así como cumplir con toda la legislación vigente. Este es un producto químico por lo que se debe manipular con los cuidados usuales para tales productos.

Para mayor información consulte la hoja de datos de seguridad.

Este producto ha sido fabricado bajo los controles establecidos por un sistema de gestión de Calidad, Seguridad y Medio Ambiente de acuerdo a las normas ISO 9001, ISO 14001 Y OHSAS 18001.

Alcance de Certificación: Beneficio, industrialización, comercialización de minerales no metálicos y subproductos derivados de los minerales no metálicos. Producción y comercialización de cal, cemento portland blanco y productos derivados de la cal, cemento y minerales no metálicos.

Anexo 2: Análisis Químico de la muestra.



CERTIFICADO DE CALIDAD - MUESTRA

Producto : FILLITE
Nº de lote : 1508
Fecha : 15.09.2015

ANÁLISIS QUÍMICO (BaseSeca) (RX-ARL)

SiO ₂ (%)	88.17
TiO ₂ (%)	0.13
Al ₂ O ₃ (%)	2.56
Fe ₂ O ₃ (%)	0.93
Cr ₂ O ₃ (%)	0.00
CaO (%)	0.41
MgO (%)	0.72
MnO (%)	0.01
SO ₃ (%)	0.00
P ₂ O ₅ (%)	0.00
Na ₂ O (%)	0.00
K ₂ O (%)	0.37
LOI (%)	6.57

Atte.

CIA. MINERA AGREGADOS CALCAREOS S.A.

Ing. Gladys Palomino Bonelli
JEFE DE LABORATORIO

Este producto ha sido fabricado bajo los controles establecidos por un sistema de gestión de Calidad, Seguridad y Medio Ambiente aprobado por Bureau Veritas.
Certificación de acuerdo a las normas ISO 9001, ISO 14001 Y OHSAS 18001.